

EXTRATERRESTRE

La humanidad ante el primer signo de vida inteligente más allá de la Tierra

AVI LOEB

Planeta

Índice

Clubs de lectura con los autores
Concursos, sorteos y promociones
Participa en presentaciones de libros

PlanetadeLibros

Comparte tu opinión en la ficha del libro
y en nuestras redes sociales:








Sinopsis

En octubre de 2017, científicos del observatorio Haleakala, en Hawái, detectaron un objeto interestelar en movimiento próximo a la Tierra. Primero fue catalogado de cometa, pero esta hipótesis fue descartada.

Llamado *Oumuamua*, «mensajero» o «explorador» en hawaiano, finalmente fue catalogado como asteroide, si bien su forma y su comportamiento diferían del resto de los asteroides y cometas de nuestro sistema solar. Cuanto más lo observaban los científicos, más extraño les parecía. Cuando Avi Loeb, catedrático de Astronomía de Harvard, sugirió que *Oumuamua* era la evidencia de vida y tecnología extraterrestre en el espacio, se desató el que probablemente sea el debate científico más relevante en décadas.

En este libro, Loeb presenta por primera vez su teoría al gran público y nos ofrece un fascinante viaje por el universo desde los orígenes del tiempo, del espacio y de la vida.

EXTRATERRESTRE

La humanidad ante el primer signo de vida inteligente más allá de la Tierra

AVI LOEB

Planeta

A mis tres musas, Ofrit, Klil y Lotem,
y a todos los que hay ahí fuera...

Introducción

Cuando tengáis la oportunidad, salid y admirad el universo. El momento idóneo para hacerlo es por la noche, obviamente. Pero incluso si el único objeto celeste que podemos discernir es el sol de mediodía, el universo está allí, esperando a que le prestemos nuestra atención. Si hay algo que he aprendido es que el mero hecho de alzar la mirada nos ayuda a cambiar de perspectiva.

De noche, la vista que se cierne sobre nuestras cabezas llega al clímax de la majestuosidad, pero esta no es una cualidad del universo; más bien es una cualidad humana. En la vorágine de quehaceres diarios, la mayoría invertimos buena parte de nuestras horas en observar atentamente lo que tenemos a escasos metros de distancia; cuando pensamos en lo que hay arriba, casi siempre lo hacemos porque nos preocupa si va a llover. Sin embargo, por la noche nuestras inquietudes terrenales tienden a disiparse y la grandiosidad de la Luna, las estrellas, la Vía Láctea o —para los que tenemos suerte— el rastro de un cometa o satélite se vuelven visibles para los telescopios domésticos, e incluso a simple vista.

Lo que vemos cuando nos dignamos a levantar la mirada ha inspirado a la humanidad durante toda la historia documentada. De hecho, recientemente se ha planteado la tesis de que las pinturas rupestres de cuarenta mil años de antigüedad esparcidas por Europa demuestran que nuestros lejanos ancestros ya seguían las estrellas. Desde los poetas a los filósofos, pasando por teólogos y científicos, hemos hallado en el universo motivos que nos han asombrado y nos han instado a actuar y a hacer progresar la civilización. Al fin y al cabo, fue el incipiente campo de la astronomía el que impulsó esa revolución científica de Nicolás Copérnico, Galileo Galilei e Isaac Newton que desplazó a la Tierra del centro del universo físico. Esos científicos no fueron los

primeros en abogar por una imagen más modesta de nuestro planeta, pero, a diferencia de los filósofos y teólogos que les precedieron, ellos se basaron en un método de hipótesis corroboradas por evidencias que, desde entonces, ha constituido la piedra angular del progreso de la civilización humana.

. . .

Durante la mayor parte de mi carrera he sentido una curiosidad insaciable por el universo. Directa o indirectamente, todo lo que se encuentra fuera de la atmósfera de la Tierra atañe a mi labor diaria. Ahora mismo dirijo el Departamento de Astronomía de la Universidad de Harvard, soy director fundador de la Iniciativa Agujero Negro de Harvard, director del Instituto de Teoría y Computación del Centro de Astrofísica Harvard-Smithsonian, presidente de la Iniciativa Breakthrough Starshot, presidente del Consejo sobre Física y Astronomía de las Academias Nacionales y miembro del consejo asesor para la plataforma digital «Einstein: Visualize the Impossible» de la Universidad Hebrea de Jerusalén, además de miembro del Consejo de Asesores del Presidente en Ciencia y Tecnología en Washington. Tengo la suerte de trabajar codo con codo con muchos expertos y estudiantes de talento excepcional, lidiando con algunas de las preguntas más trascendentales del universo.

Este libro aborda una de estas cuestiones trascendentales, tal vez la que más: ¿estamos solos? A lo largo del tiempo, esta pregunta se ha formulado de distintas maneras. ¿La vida en la Tierra es la única del universo? ¿Los humanos son los únicos seres pensantes e inteligentes en la inmensidad del tiempo y el espacio? Una forma mejor y más precisa de formular la pregunta sería esta: a lo largo y ancho del universo, ¿existen o han existido jamás civilizaciones inteligentes que, como la nuestra, hayan explorado las estrellas y hayan dejado un rastro de sus empeños?

Creo que, en 2017, cruzó por nuestro sistema solar un indicio que respalda la hipótesis de que la respuesta a la última pregunta es sí. En este libro analizo esos indicios, compruebo esa hipótesis y

me planteo qué consecuencias tendría el hecho de que los científicos le dieran la misma credibilidad que otorgan a las conjeturas sobre la supersimetría, las dimensiones extra, la naturaleza de la materia oscura y la posibilidad de que exista un multiverso.

Pero este libro también plantea otra pregunta que, en ciertos aspectos, es más difícil de responder. ¿Estamos preparados los científicos y la gente corriente? ¿La civilización humana está preparada para hacer frente a lo que acarrea aceptar la conclusión plausible, derivada de hipótesis probadas, de que la vida terrestre no es única y tal vez no sea ni siquiera especialmente impresionante? Me temo que la respuesta es no, y ese prejuicio generalizado nos da motivos para preocuparnos.

. . .

Como sucede en muchas profesiones, las tendencias de moda y el conservadurismo ante lo desconocido son patentes en toda la comunidad científica. Una parte de ese conservadurismo dimana de un instinto encomiable. El método científico nos anima a ser cautos. Hacemos una hipótesis, recabamos pruebas, cotejamos la hipótesis con las pruebas de las que disponemos y luego la pulimos o reunimos más pruebas. Pero las modas pueden disuadirnos de barajar ciertas hipótesis y la ambición de hacer carrera puede atraer nuestra atención y nuestros recursos hacia ciertos temas alejándonos de otros.

La cultura popular no ha ayudado. Los libros y las películas de ciencia ficción suelen presentar la inteligencia extraterrestre de una manera que a la mayoría de los científicos serios les produce risa. Los alienígenas reducen a escombros las ciudades terrícolas, se apoderan de los cuerpos humanos o tratan de comunicarse con nosotros por medios enrevesados. Sean malevolentes o benevolentes, los alienígenas suelen poseer una sabiduría sobrehumana y han amasado tal conocimiento de la física que son capaces de manipular el tiempo y el espacio para poder cruzar de punta a punta el universo —y a veces el multiverso— en un abrir y

cerrar de ojos. Con esta tecnología, frecuentan sistemas solares, planetas e incluso bares de barrio repletos de vida inteligente. Con los años, he acabado albergando la certeza de que las leyes de la física dejan de aplicarse en solo dos sitios: en las singularidades y en Hollywood.

Personalmente, no me gusta la ciencia ficción cuando se infringen las leyes de la física; me gusta la ciencia y me gusta la ficción, pero solo cuando son honestas, sin pretensiones. Profesionalmente, me preocupa que los retratos sensacionalistas de los alienígenas hayan dado pie a una cultura popular y científica en la que uno puede desechar con desdén todos los debates serios sobre la vida extraterrestre, aun cuando las pruebas indican sin atisbo de duda que es un tema que merece ser discutido; de hecho, es algo que deberíamos debatir ahora más que nunca.

¿Somos la única vida inteligente del universo? Los relatos de ciencia ficción nos han curtido para esperar una respuesta negativa que llegue de golpe; los relatos científicos suelen evitar de plano la cuestión. El resultado es que los humanos estamos muy mal preparados para un encuentro con nuestros homólogos extraterrestres. Cuando se acaban los créditos y salimos del cine para alzar los ojos hacia el cielo nocturno, el contraste es evidente. Encima de nosotros vemos un espacio en gran parte vacío, aparentemente desprovisto de vida. Pero las apariencias pueden ser traicioneras y, por nuestro propio bien, no podemos permitirnos seguir viviendo engañados.

. . .

En «Los hombres huecos», una reflexión sobre la Europa de después de la Primera Guerra Mundial, el poeta T. S. Eliot proclama que el mundo terminará con un susurro y no con un estallido, igual que había acabado ese desolador conflicto, el más mortífero de la historia de la humanidad hasta ese momento. Pero quizás porque mi primer amor académico fue la filosofía, en la evocadora imagen de Eliot no solo detecto desolación. También percibo una elección ética.

El mundo acabará, por supuesto, y casi seguro que lo hará con un estallido; dentro de unos 7.000 millones de años, nuestro Sol, que ahora tiene unos 4.600 millones de años, se convertirá en una gigante roja que se irá expandiendo y acabará con toda la vida de la Tierra. Esto no es algo debatible, ni es una cuestión ética.

No, la cuestión ética que oigo en «Los hombres huecos» de Eliot no pone su acento en la extinción del planeta, en sí misma una certeza científica, sino en la extinción menos certera de la civilización humana; tal vez, de hecho, de toda la vida terrestre.

Hoy, nuestro planeta avanza hacia la catástrofe. El deterioro medioambiental, el cambio climático, las pandemias y el riesgo contumaz de la guerra nuclear son solo las amenazas más palpables a las que nos enfrentamos. De mil formas imaginables, hemos sentado las bases para nuestro propio fin. Podría llegar con un estallido, con un susurro, o de ambas formas; o de ninguna de estas maneras. Por ahora, todas las opciones están encima de la mesa.

¿Qué camino escogeremos? Este es el dilema moral que encierran los versos de Eliot.

¿Y si esta metáfora sobre los finales demuestra ser cierta para algunos comienzos? ¿Y si halláramos una respuesta a la pregunta «¿estamos solos?», pero fuera una respuesta sutil, efímera y ambigua? ¿Y si tuviéramos que invertir todas nuestras facultades de observación y deducción para obtenerla? ¿Y si la respuesta a esta pregunta encerrara la clave para la otra que acabo de plantear, relativa a si la vida terrestre y nuestra civilización colectiva terminarán, y cómo?

. . .

En estas páginas valoraré la hipótesis de que esta respuesta fue precisamente dada a la humanidad el 19 de octubre de 2017. No solo me tomo en serio la hipótesis, sino también los mensajes que conlleva para nuestra civilización, las lecciones que podemos extraer de ella y algunas de las consecuencias que acarrearía el hecho de actuar o no actuar ante la perspectiva de estas lecciones.

Aunque buscar las respuestas a las preguntas de la ciencia —

tanto si conciernen al origen de la vida como al origen de todo— puede parecer uno de los actos humanos más arrogantes, la búsqueda en sí misma es humilde. Según todos los parámetros, una vida humana es ínfima; nuestros logros individuales solo son visibles cuando se suman a la montaña que se ha erigido durante generaciones enteras. Todos estamos subidos a hombros de nuestros predecesores; y nuestros hombros deben servir de base para el trabajo de aquellos que vendrán. Si olvidamos esto nos ponemos en peligro a nosotros mismos y a ellos.

También hay humildad en reconocer que, cuando nos cuesta entender el universo, la culpa es de nuestra capacidad de comprensión, no de los hechos ni de las leyes de la naturaleza. Me di cuenta de ello a una edad temprana, a raíz de mi coqueteo con la filosofía durante mis años de juventud; lo volví a aprender durante la fase inicial de mi formación como físico y lo acabé apreciando más a fondo cuando, de forma un tanto accidental, me convertí en astrofísico. En mi adolescencia me cautivaron especialmente los existencialistas y su interés por el individuo que se enfrenta a un mundo aparentemente absurdo; como astrofísico, tengo muy presente la pequeñez de mi vida —de hecho, de toda la vida— al lado de la inmensidad del universo. He descubierto que, cuando los abordamos con humildad, tanto la filosofía como el universo nos brindan esperanzas para hacerlo mejor. Es necesaria una colaboración científica adecuada entre todos los países y una perspectiva verdaderamente global, pero sí podemos hacerlo mejor.

También tengo la impresión de que, a veces, la humanidad necesita un empujoncito.

¿Si en nuestro sistema solar apareciera vida extraterrestre, nos daríamos cuenta? Si estamos esperando que en el horizonte se divisen de golpe y porrazo naves que desafíen la gravedad, ¿corremos el riesgo de pasar por alto el murmullo de otras llegadas? ¿Qué pasaría si, por ejemplo, esas señales fueran tecnología inerte o extinta?, ¿el equivalente, quizás, a los despojos de una civilización de hace mil millones de años?

. . .

He aquí un experimento mental que planteo a mis alumnos de primer año del seminario en Harvard. Una nave alienígena ha aterrizado en el campus de Harvard y los extraterrestres aseguran que vienen en son de paz. Nos visitan, se sacan fotos en la escalinata de la Biblioteca Widener y tocan el pie de la estatua de John Harvard, como hacen tantos turistas. Entonces se vuelven hacia sus anfitriones y los invitan a embarcar en su nave para viajar al planeta de origen de los alienígenas. Admiten que es un poco arriesgado, pero ¿acaso hay alguna aventura que no lo sea?

¿Aceptaríais su oferta? ¿Haríais el viaje?

Casi todos mis alumnos responden que sí. Entonces cambio el experimento mental. Los alienígenas siguen siendo simpáticos, pero ahora informan a sus amigos humanos de que, en vez de regresar a su planeta nativo, van a atravesar el horizonte de sucesos de un agujero negro. Vuelve a ser una proposición arriesgada, es cierto, pero los alienígenas confían tanto en su modelo teórico respecto a lo que les espera que están dispuestos a ir. Lo que quieren saber es si vosotros estáis preparados. ¿Emprenderíais un viaje así?

Casi todos mis alumnos responden que no.

Los dos son viajes solo de ida. Ambos entrañan sucesos desconocidos y riesgos. Así pues, ¿a qué se deben las respuestas diferentes?

La razón que más suelen aducir mis alumnos es que, en el primer caso, podrían seguir usando los teléfonos para compartir sus experiencias con amigos y familiares, porque, aunque fueran emitidas a años luz de distancia de la Tierra, las señales nos acabarían llegando. No obstante, tras atravesar el horizonte de sucesos de un agujero negro, seguro que no se podría enviar ningún selfi, ningún mensaje ni dato, fuera asombroso o no. Un viaje generaría muchos «me gusta» en Facebook y en Twitter; el otro seguro que no.

Llegados a este punto, recuerdo a mis alumnos que, tal como manifestó Galileo Galilei después de mirar por su telescopio, a las

pruebas les trae sin cuidado la aprobación. Esto atañe a todas las pruebas, tanto si se recaban en un planeta remoto como al otro lado del horizonte de sucesos de un agujero negro. El valor de la información no estriba en el número de pulgares que dan su aprobación, sino en lo que hacemos con ella.

Y luego les hago una pregunta que muchos alumnos de Harvard creen que son capaces de responder: ¿somos —los humanos, claro está— los más listos de la clase? Antes de que puedan contestar, añado: mirad al cielo y pensad que vuestra respuesta dependerá en gran medida de cómo contestéis a una de mis preguntas favoritas: ¿estamos solos?

Contemplar el cielo y el universo que hay más allá nos enseña a ser humildes. El espacio y el tiempo cósmicos tienen escalas gigantescas. Hay más de mil trillones de estrellas como el Sol en el volumen observable del universo, y los más afortunados entre nosotros vivimos apenas una cienmillonésima parte de la vida del Sol. Pero seguir siendo humildes no nos debería disuadir de intentar entender mejor nuestro universo. Más bien lo contrario, debería animarnos a ser más ambiciosos, a plantear preguntas difíciles que pongan en duda nuestras suposiciones y a buscar denodadamente pruebas, no «me gusta».

. . .

El grueso de los indicios con los que lidia este libro se recabaron durante once días, a partir del 19 de octubre de 2017. Ese fue el plazo que tuvimos para observar el primer visitante interestelar conocido. El análisis de estos datos, unido a las observaciones adicionales, respalda nuestras deducciones acerca de este peculiar objeto. Once días no parecen gran cosa, y no hay ningún científico que no deseara haber conseguido recabar más pruebas; así y todo, los datos de los que disponemos son significativos y nos permiten extraer muchas conclusiones. Todas se detallan en las páginas de este libro. Pero hay una inferencia en la que convienen todas las personas que han estudiado los datos: este visitante, comparado con todos los demás objetos que han

estudiado alguna vez los astrónomos, era muy extraño. Y las hipótesis que se han esgrimido para explicar todas las peculiaridades observadas del objeto son igual de extravagantes.

Yo defiendo que la explicación más simple para estas peculiaridades es que el objeto fue creado por una civilización inteligente que no reside en la Tierra.

Esta es una hipótesis, por descontado, pero es intrínsecamente científica. Las conclusiones que podemos extraer de ella, sin embargo, no son solo científicas, como tampoco lo son las medidas que podríamos tomar a la luz de estas conclusiones. La razón es que mi simple hipótesis enlaza con algunas de las preguntas más profundas que la humanidad ha intentado responder jamás, preguntas que se han abordado desde el punto de vista de la religión, la filosofía y el método científico. Guardan relación con todo lo que reviste una mínima importancia para la civilización humana y la vida (sea la que sea) en el universo.

En honor a la transparencia, debo advertiros de que algunos científicos consideran mi hipótesis pasada de moda, ajena a la ciencia convencional e incluso peligrosamente mal planteada. Pero el peor error que podemos cometer es, en mi opinión, no tomarnos lo bastante en serio esta posibilidad.

Os lo voy a explicar.

1

Explorador

Mucho antes de que supiéramos de su existencia, el objeto estaba viajando hacia nosotros desde la dirección de Vega, una estrella a solo veinticinco años luz. El 6 de septiembre de 2017 cruzó el plano orbital en el que todos los planetas de nuestro sistema solar giran alrededor del Sol. Pero la trayectoria altamente hiperbólica del objeto no dejaba margen para la especulación: solo estaba de visita, no se iba a quedar.

El 9 de septiembre de 2017 el visitante llegó a su perihelio, el punto de la trayectoria más cercano al Sol. Entonces emprendió el camino de salida del sistema solar; su velocidad lejos de nuestra estrella —se movía a unos 94.800 kilómetros por hora con respecto a ella— no dejaba lugar a dudas de que iba a escapar de la gravedad solar. Cruzó la órbita de Venus hacia el 29 de septiembre y la de la Tierra, alrededor del 7 de octubre, avanzando rápidamente hacia la constelación Pegaso y la oscuridad ulterior.

El objeto se dirigió a gran velocidad hacia el espacio interestelar sin que la humanidad tuviera constancia de su visita. Ajenos a su llegada, no le habíamos dado ningún nombre. Si alguien o algo lo hizo, ignorábamos —y seguimos ignorando— cuál podría ser.

Los astrónomos de la Tierra no vislumbraron a nuestro huésped saliente hasta que nos hubo dejado atrás. Concedimos al objeto varias designaciones oficiales, hasta que al fin nos quedamos con una: 1I/2017 U1. Sin embargo, la comunidad científica de nuestro planeta y el público acabarían conociéndolo simplemente como Oumuamua, un nombre hawaiano que refleja la

ubicación del telescopio usado para descubrir el objeto.

. . .

Las islas de Hawái son joyas del océano Pacífico que atraen a turistas de todo el mundo. Pero para los astrónomos encierran un atractivo adicional: alojan algunos de los telescopios más sofisticados del planeta, un testimonio de nuestras tecnologías más avanzadas.

Entre los modernos telescopios de Hawái se encuentran los que forman el Telescopio de Sondeo Panorámico y Sistema de Respuesta Rápida (Pan-STARRS), una red de telescopios y cámaras de alta definición situada en un observatorio que hay en la cima del Haleakala, el volcán inactivo que conforma la mayor parte de la isla de Maui. Uno de los telescopios, el Pan-STARRS1, tiene la cámara de mayor definición del planeta y, desde que se conectó, el sistema ha descubierto la mayoría de los cometas y asteroides próximos a la Tierra que se conocen en el sistema solar. Pero el Pan-STARRS puede presumir de otra cosa: recabó los datos que nos aportaron el primer indicio de la existencia de Oumuamua.

El 19 de octubre el astrónomo Robert Weryk del Observatorio Haleakala descubrió a Oumuamua en los datos recogidos por el telescopio Pan-STARRS, unas imágenes que mostraban el objeto como un punto de luz que recorría velozmente el firmamento, a una velocidad demasiado rápida para ser atrapado por la gravedad del Sol. Esta clave indujo rápidamente a la comunidad astronómica a convenir que Weryk había encontrado el primer objeto interestelar jamás detectado en nuestro sistema solar. Pero cuando hubimos dado con un nombre para el objeto, estaba a más de treinta y dos millones de kilómetros de la Tierra, lo que equivale más o menos a ochenta y cinco veces la distancia que nos separa de la Luna, y se estaba alejando de nosotros como una flecha.

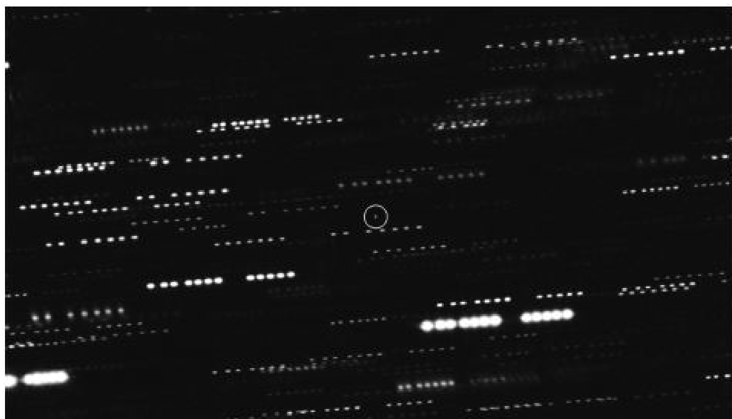


Imagen combinada de telescopio del primer objeto interestelar, Oumuamua. Rodeado con un círculo, el objeto es la fuente puntual sin resolución del centro. Está flanqueado por el rastro de estrellas tenues, cada una de las cuales forma una serie de puntos debido al movimiento del telescopio para capturar el avance de Oumuamua. ESO/K. Meech *et al.*

Llegó a nuestro vecindario como un extraño, pero se fue siendo algo más. El objeto al que habíamos dado un nombre se había marchado y nos había dejado una ristra de preguntas sin respuesta que motivó un análisis meticuloso de los científicos y despertó la imaginación de todo el mundo.

La palabra hawaiana *oumuamua* (que se pronuncia tal como se escribe) se podría traducir por «explorador». Cuando anunció la designación oficial del objeto, la Unión Astronómica Internacional definió *oumuamua* de forma un tanto diferente, como «primer mensajero lejano en llegar».[1]Sea como fuere, el nombre implica claramente que el objeto fue el primero de otros que van a llegar.

. . .

Los medios acabaron tildando a Oumuamua de «raro», «misterioso» y «extraño». Pero ¿en comparación con qué? En

resumen, la respuesta es que este explorador era raro, misterioso y extraño si se lo comparaba con todos los demás cometas y asteroides descubiertos hasta entonces.

En verdad, los científicos no podían ni siquiera afirmar con certeza que este explorador fuera un cometa o un asteroide.

No es que no tuviéramos con qué compararlo. Cada año se descubren miles de asteroides, rocas áridas que surcan el espacio, y hay tantos cometas helados en nuestro sistema solar que nuestros instrumentos son incapaces de contarlos.

Los visitantes interestelares son mucho más raros que los asteroides o los cometas. De hecho, cuando se descubrió a Oumuamua, nunca habíamos avistado un objeto que proviniese de fuera de nuestro sistema solar y que lo cruzara.

Esta distinción se desvaneció enseguida, porque poco después de identificarse a Oumuamua se descubrió un segundo objeto interestelar. Y en el futuro es probable que encontremos muchos más, sobre todo gracias al próximo proyecto de sondeo LSST del Observatorio Vera C. Rubin. En cierta medida, ya estábamos esperando a estos visitantes incluso antes de que pudiéramos verlos. Las estadísticas sugieren que, aunque la cantidad de objetos interestelares que cruzan el plano orbital de la Tierra es minúscula con respecto a la cantidad de objetos que se originan dentro del sistema solar, tampoco es que sean poco corrientes. En resumen, la idea de que nuestro sistema solar sea anfitrión ocasional de objetos interestelares es asombrosa, pero no encierra ningún misterio. Y, al principio, los meros hechos de Oumuamua solo causaron estupor. Poco después de que el Instituto de Astronomía de la Universidad de Hawái anunciara el descubrimiento de Oumuamua, el 26 de octubre de 2017, científicos de todo el mundo analizaron los datos esenciales recopilados y convinieron en la mayor parte de los hechos básicos: la trayectoria, la velocidad y el tamaño aproximado de Oumuamua (tenía un diámetro de menos de cuatrocientos metros). Ninguno de estos detalles iniciales sugería que Oumuamua fuera extraño por ninguna razón más allá de su origen, fuera de nuestro sistema estelar.

Pero al cabo de poco, los científicos que examinaban la

plétora de datos empezaron a destacar las peculiaridades de Oumuamua, detalles que pronto nos hicieron poner en duda la suposición de que este objeto fuera un cometa o un asteroide normal y corriente, pese a ser interestelar. Apenas unas semanas después de su descubrimiento, a mediados de noviembre de 2017, la Unión Astronómica Internacional —la organización que bautiza los objetos recién identificados en el espacio— cambió la denominación de Oumuamua por tercera y última vez. Al principio, la UAI lo había llamado C/2017 U1, con ce de «cometa». Luego pasó a llamarlo A/2017 U1, con la a de «asteroide». Y al final, la UAI lo designó 1I/2017, con i de «interestelar». En ese momento, el hecho de que Oumuamua había venido del espacio interestelar era una de las pocas cosas en las que coincidía todo el mundo.

. . .

Como reza el viejo dicho, un científico debe seguir la huella de los datos. El hecho de seguirlos te llena de humildad y te libera de las preconcepciones que pueden nublar las observaciones y las ideas. Casi podemos decir lo mismo de la adultez, una buena definición de la cual podría ser «el punto en el que has reunido tanta experiencia que tus modelos pueden predecir la realidad con un alto porcentaje de éxito». Tal vez no es como se la explicaríais a vuestros hijos pequeños, pero, aun así, creo que la definición ofrece sus ventajas.

En la práctica, esto solo significa que deberíamos permitirnos tropezar. Libraos de los prejuicios. Blandid la navaja de Ockham y buscad la explicación más sencilla. Estad dispuestos a abandonar modelos que no funcionan, pues algunos fracasan inevitablemente cuando chocan con nuestra comprensión imperfecta de los hechos y de las leyes naturales.

Obviamente, hay vida en el universo; nosotros damos fe de ello. Y esto implica que la humanidad ofrece un conjunto de datos enorme, convincente, a veces inspirador y a veces preocupante, que es necesario valorar a la hora de pensar en los actos e

intenciones de cualquier otro ser inteligente que pueda existir —o haber existido— en el universo. En cuanto que único ejemplo de vida inteligente que hemos estudiado a fondo, es probable que los humanos encierren muchas claves para comprender el comportamiento de otras especies inteligentes pasadas, presentes o futuras del universo.

Como físico, me fascina la omnipresencia de las leyes físicas que regulan nuestra existencia en este pequeño planeta que nos acoge. Cuando observo el cosmos, me asombra el orden, el hecho de que las leyes naturales que encontramos en la Tierra parezcan aplicarse hasta los mismos confines del universo. Y durante un largo periodo de tiempo, desde mucho antes de la llegada de Oumuamua, he albergado una idea fundamental: la omnipresencia de estas leyes naturales sugiere que, si hay vida inteligente en algún otro lugar, casi seguro que estará formada por seres que reconocen estas leyes omnipresentes y que están impacientes por ir adonde les lleven los indicios, encantados de teorizar, recopilar datos, probar teorías, pulirlas y volverlas a probar. Y en último término, igual que ha hecho la humanidad, de explorar.

Nuestra civilización ha enviado cinco objetos fabricados por el ser humano al espacio interestelar: los Voyager 1 y 2, los Pioneer 10 y 11 y el New Horizons. Este mero hecho denota nuestro potencial ilimitado para aventurarnos a lo desconocido, como también se deduce del comportamiento de nuestros ancestros más alejados. Durante milenios, los humanos han viajado hasta los lugares más recónditos del planeta buscando vidas diferentes o mejores, o simplemente explorando, muchas veces con un nivel de incertidumbre pasmoso respecto a lo que iban a encontrar o a si iban a volver. Las certezas de nuestra especie aumentaron bastante con el paso del tiempo —los astronautas viajaron a la Luna y regresaron en 1969—, pero estas misiones siguen siendo frágiles. No fueron las paredes del módulo lunar las que protegieron a los astronautas, pues tenían un grosor similar a una hoja de papel, sino la ciencia y la ingeniería detrás de su construcción.

Y si hubieran aparecido otras civilizaciones entre las estrellas, ¿no habrían sentido el mismo impulso por explorar, por cruzar

horizontes conocidos en busca de otros nuevos? A juzgar por cómo nos comportamos los humanos, no sería nada sorprendente. En realidad, tal vez estos seres se aclimataron tanto a la inmensidad ilimitada del espacio que viajaron por él casi igual que aquí en la Tierra cruzamos el planeta. Nuestros antepasados usaban términos como «viajar» y «explorar»; hoy, nos vamos de vacaciones.

En julio de 2017 mi esposa, Ofrit, nuestras dos hijas, Klil y Lotem, y yo visitamos un conjunto impresionante de telescopios en Hawái. Como director del Departamento de Astronomía de la Universidad de Harvard, me habían invitado a dar una charla en la Isla Mayor de Hawái para transmitir el entusiasmo de la astronomía al público, una parte del cual estaba protestando porque se siguiera construyendo el nuevo gran telescopio en la cumbre del volcán inactivo Mauna Kea. Acepté de buen grado y aproveché la oportunidad para visitar algunas otras islas del archipiélago, incluida Maui, que aloja telescopios de última generación.

El tema del que hablé fue la habitabilidad del universo y la probabilidad de que en las siguientes décadas descubriéramos indicios de vida extraterrestre. Dije que, cuando lo hiciéramos, ese descubrimiento forzaría a la humanidad a convencerse de que no somos tan especiales. El titular del periódico local sobre mi presentación plasmó bien la idea: «Humildad, terrícolas».

Di la charla poco menos de un mes antes de que Oumuamua —desconocido para los terrícolas— cruzara el plano orbital de Marte. Y hablé a escasos kilómetros del Pan-STARRS1, uno de los telescopios que visité durante el viaje y un prodigio tecnológico de la ingeniería. Tres meses después, los datos recopilados por el Pan-STARRS desembocaron en el descubrimiento de Oumuamua.

. . .

El primer telescopio del Pan-STARRS, el PS1, entró en funcionamiento en 2008. Cincuenta años antes, en 1958, se había construido otro telescopio en la cima del Haleakala, pero no para estudiar las estrellas; uno de los mayores temores por aquel

entonces eran los satélites soviéticos, y los Estados Unidos querían tenerlos controlados. El Pan-STARRS, el Telescopio de Sondeo Panorámico y Sistema de Respuesta Rápida, tenía otro propósito: detectar cometas y asteroides que amenazaran con impactar con la Tierra. En consecuencia, desde 2008 se ha vuelto más y más sofisticado. A lo largo de los años se han añadido otros telescopios, el más destacado de los cuales es el Pan-STARRS2, plenamente operativo desde 2014. La telaraña de telescopios que denominamos colectivamente Pan-STARRS sigue cartografiando los cielos, detectando cometas, asteroides, supernovas, etcétera.

Resumiendo, el fin de la Guerra Fría ayudó a poner en marcha un observatorio complejo y avanzado tecnológicamente. Tanto fue así que, décadas más tarde, en la atmósfera fría y clara de un volcán extinto, un sofisticado instrumento de la red fue capaz de detectar a Oumuamua, que pasó por encima de nosotros apenas unos años después de que ese preciso telescopio entrara en funcionamiento.

Es fácil maravillarse ante el carácter caprichoso de las coincidencias. Pero las coincidencias pueden ser engañosas. Durante buena parte de nuestra historia, la gente ha recurrido a explicaciones místicas o religiosas para dar sentido a los hechos que carecían de causas evidentes. Me gusta pensar que, incluso durante la infancia y la adolescencia temprana de nuestra civilización, la humanidad estaba acumulando suficiente experiencia para diseñar modelos cada vez más precisos con los que predecir la realidad. La humanidad, en cierto modo, ha ido llegando a la adultez poco a poco a lo largo de la historia documentada.

En verdad, la mayoría de los sucesos de la vida son fruto de una confluencia de múltiples factores. Esto sirve tanto para los ejemplos más mundanos (como tomar la sopa del bol que tienes delante) como para casos extraordinarios (los orígenes de..., en fin, de todo). Estos pueden abarcar desde lo más personal (por ejemplo, dos personas que son presentadas, hecho que conduce a un matrimonio del que nacen dos hijas con ganas de ir de vacaciones a Hawái) a lo más global (por ejemplo, la posibilidad

muy real de que, durante once días de octubre de ese año, nuestros telescopios detectaran un objeto proveniente del exterior del sistema solar).

Mi familia y yo volvimos de nuestras vacaciones a la casa centenaria que tenemos en las afueras de Boston, Massachusetts. En muchos aspectos, es muy distinta de la hacienda de Israel en donde crecí. Pero a la hora de satisfacer mi amor por la naturaleza, o mi necesidad de estar en medio de las cosas que crecen y viven, ambas son iguales.

Una tarde, paseando cerca de mi casa, vi caer un árbol gigantesco en el bosque que empieza al término de nuestro jardín. Primero oí unos crujidos y, luego, vi cómo cedía y se derrumbaba. Tenía el tronco hueco. Buena parte de él llevaba años muerto y, en esa fecha, en ese preciso instante, fue incapaz de seguir soportando el azote del viento. Fue una casualidad que yo estuviera allí para presenciar su muerte, parte de una cadena causal de la que fui testigo, pero sobre la que no tuve ningún control.

Pero en circunstancias más favorables, nuestros actos sí pueden marcar la diferencia. Hará una década, cuando mi familia se mudó a Lexington, descubrí que en el jardín había un árbol joven con una rama partida. Un jardinero de la zona me aconsejó cortar el tallo prácticamente cercenado, pero, al inspeccionarlo más de cerca, vi que las fibras vivas aún estaban unidas al resto del árbol. Opté por atar la rama con cinta aislante. Hoy, la rama se alza imponente hacia el cielo, pero la cinta aislante aún queda a la altura de los ojos. El árbol está cerca de la casa y se ve desde nuestras ventanas. Se lo señalo a mis hijas para recordarles que los actos más triviales pueden tener extraordinarias consecuencias.

Algunas de las decisiones más trascendentales se toman con la esperanza de lo que puede resultar de ellas. Cuando reparé esa rama, para mí no fue solo un artículo de fe, sino una experiencia repetida a menudo.

2

La hacienda

Uno de mis recuerdos más precoces es llegar un poco tarde a clase el primer día de primaria. Cuando entré en el aula, los niños estaban correteando y botando encima de las sillas, e incluso sobre los pupitres. Había armada la de Troya.

Reaccioné con curiosidad. Miré a mis compañeros de clase y pensé si debía unirme a ellos. ¿Tiene sentido comportarse así? ¿Por qué lo hacen? ¿Por qué debería hacerlo yo? Me quedé en la puerta un momento intentando resolver estas dudas.

La maestra llegó al cabo de unos segundos. Estaba furiosa. No era como habría querido que empezara el nuevo curso escolar. Tratando de hacer valer su autoridad y calmar a los alumnos, vio en mí una oportunidad para reconducir la situación.

—Mirad qué bien se porta Avi —dijo a la clase—. ¿No podéis seguir su ejemplo?

Pero mi placidez no era señal de virtud. No había decidido que lo correcto era quedarme de pie tranquilamente esperando a que llegara la maestra; simplemente no había decidido si tenía sentido unirme al jaleo que estaban armando.

Quería decírselo a la maestra, pero no lo hice, y ahora creo que fue un error. La lección que podrían haber aprendido mis compañeros de mi conducta —una lección que yo acabé aprendiendo por mi cuenta y que desde entonces he intentado transmitir a mis propios alumnos— no concernía a si debemos seguir o no a la muchedumbre, sino que debemos invertir un tiempo en pensar antes de actuar.

Al deliberar, mostramos la humildad de la incertidumbre. Esta

es otra actitud ante la vida que me he esforzado por adoptar, cultivar en mis alumnos en Harvard e inculcar a mis hijas. A fin de cuentas, es lo que mis padres trataron de inculcarme a mí.

. . .

Yo crecí en Israel, en la finca que mi familia tenía en Beit Hanan, una aldea situada unos veinte kilómetros al sur de Tel Aviv. La comunidad agrícola se remonta a 1929. Poco después de su fundación podía presumir de contar con 178 habitantes, pero en 2018 esa cifra solo había crecido hasta los 548. Cuando era un crío, la aldea se caracterizaba por sus huertos e invernaderos, en los que se cultivaban toda clase de frutas, verduras y flores. También era un *moshav,* un tipo especial de pueblo. A diferencia del kibutz, en el que la tierra se labra en comunidad, en un *moshav* cada familia posee su propia hacienda.

La nuestra destacaba por su gran plantación de nogales —mi padre era el representante oficial de Israel en el sector del cultivo de nueces—, pero también cultivábamos naranjas y uvas. Los nogales pueden superar los treinta metros de altura y, cuando era pequeño, los veía como auténticas torres, pero los naranjos, que despedían un olor característico e intenso cuando la fruta estaba madura, casi nunca medían más de tres metros y eran fáciles de trepar.

El cuidado de los árboles y la supervisión de la maquinaria necesaria tenía a mi padre, David, todo el día ocupado. Era un auténtico manitas y, de hecho, lo recuerdo mayormente a través de cosas: los tractores que arreglaba, los árboles de los huertos que cuidaba y los aparatos que reparaba por toda la casa y la hacienda. Un recuerdo especialmente vívido que conservo de él es verle encaramándose al tejado de la casa durante el verano de 1969 para asegurarse de que nuestra televisión recibiera la señal correctamente para poder ver el aterrizaje del Apolo 11 en la Luna.

Por muy hacendoso que fuera mi padre, el volumen colosal de trabajo significaba que mis dos hermanas y yo siempre teníamos muchas cosas que hacer en casa. Como criábamos gallinas, a una

edad muy temprana empecé a recoger los huevos y a pasar muchas noches persiguiendo plumosos polluelos que se habían escapado de la jaula.

En los sesenta y los setenta, las primeras décadas de mi vida, Israel era un país pobre. Después de la Segunda Guerra Mundial, los refugiados judíos engrosaron un tercio la población. El número de habitantes de la región pasó de los dos millones a más de tres. Muchos llegaban de Europa, y las cicatrices del Holocausto seguían en carne viva. Además, los países árabes de Oriente Medio eran decididamente hostiles con Israel, pero el Estado estaba comprometido a mantener su territorio. Los conflictos se sucedían: a la guerra del Sinaí de 1956 la siguieron la guerra de los Seis Días de 1967 y la guerra de Yom Kipur de 1973. Aunque en mi infancia Israel solo contaba con unas décadas de vida, tenía hondas raíces en la historia reciente y antigua, y los israelíes eran —y siguen siendo— conscientes de que la supervivencia de su nación dependía de la reflexión que se hiciera sobre las consecuencias de sus elecciones.

También es un país bonito. Beit Hanan y la hacienda de mi familia fueron sitios espléndidos en los que crecer. Esta atmósfera de libertad inspiró mis primeros escritos, notas que iba tomando y apilando en el primer cajón del escritorio. Durante buena parte de mi edad adulta he encontrado consuelo en pensar que, si mi librepensamiento me acababa dando problemas, siempre podía volver la mar de feliz a la hacienda de mi infancia.

Es habitual creer que la vida es una suma de los lugares que visitamos. Pero esto es una ilusión. La vida es una suma de sucesos, y estos sucesos son fruto de decisiones, pero solo algunas de ellas dependen de nosotros.

Por supuesto, hay hilos de continuidad. La ciencia que hago está directamente conectada con mi niñez. Fue una etapa de inocencia consagrada a meditar sobre las grandes cuestiones de la vida, a disfrutar de la belleza de la naturaleza y a deleitarme en los huertos y en la compañía de los vecinos de Beit Hanan, sin temer por mi estatus o mi reputación.

. . .

La cadena causal que me llevó hasta Beit Hanan empezó más o menos con la decisión de mi abuelo Albert (mi tocayo, aunque mi nombre esté traducido al hebreo) de huir de la Alemania nazi. Tuvo mejor vista que muchos y previó la alta probabilidad del cataclismo, la vertiginosa deriva de los acontecimientos que, ya antes de que estallara la Segunda Guerra Mundial, hacía prever que los judíos iban a ver mermado su abanico de opciones, que cada vez iban a afrontar consecuencias más funestas en caso de no escoger el camino adecuado.

Afortunadamente para él y para mí, Albert tomó la decisión correcta. Se fue de Alemania en 1936 y se mudó a Beit Hanan poco después de su fundación. Pese a tener pocos habitantes y verse igual de azotada por los emergentes vientos de guerra, la comunidad agrícola era un refugio en comparación con el resto del mundo. Al poco de su llegada, se unieron a él mi abuela Rosa y sus dos hijos. Uno de ellos era mi padre, de once años. Con el cambio de la sociedad alemana a la judía, pasó de llamarse Georg a David.

Mi madre, Sara, también fue a parar a Beit Hanan desde muy lejos. Nació y creció en Haskovo, cerca de la capital búlgara de Sofía. El azar geográfico que la hizo búlgara en vez de alemana la salvó a ella y a su familia durante la guerra. A pesar de aliarse con el régimen nazi, Bulgaria mantuvo su soberanía y, con ella, cierta capacidad para oponerse a las demandas crecientes de Adolf Hitler para que el país deportara a los judíos a Alemania. Ante los rumores que circulaban sobre los campos de exterminio, la Iglesia ortodoxa búlgara puso el grito en el cielo por las deportaciones y el rey búlgaro se armó de valor para negarse a las peticiones de Alemania. Valga decir que lo hizo alegando que Bulgaria necesitaba a sus judíos como mano de obra, pero el hecho fue que consiguió proteger a muchos de ellos. Así pues, mi madre pudo gozar de una infancia relativamente normal. Estudió en una escuela monástica francesa y acabó ingresando en la universidad en Sofía. Pero en 1948, con la Europa de posguerra en ruinas y la Unión Soviética expandiéndose al oeste, dejó los estudios y emigró

con sus padres al nuevo Estado de Israel.

Los fundadores de Beit Hanan eran de Bulgaria, así que no fue casualidad que la familia de Sara acabara ahí. El pueblo rural era muy diferente de la ciudad cosmopolita y los estudios universitarios que había dejado atrás. Aun así, su nuevo hogar tenía su encanto. Al poco de llegar, Sara conoció a mi padre. Se enamoraron, se casaron y tuvieron tres hijos: mis dos hermanas mayores, Shashana (Shoshi) y Ariela (Reli), y finalmente yo, que nací en 1962.

En esos primeros años, mi madre se dedicó en cuerpo y alma a la familia y a la comunidad. Era una panadera de renombre en el pueblo y mi armario daba fe de su talento para tejer jerséis, pero incluso en el relativo aislamiento de Beit Hanan siguió dedicándose a la vida intelectual. Con esto no me refiero solo a un interés erudito en el estudio, sino a un deseo de aplicar su intelecto al mundo. Y fue esto, junto con su integridad, lo que hizo que sus calibradas opiniones fueran valoradas por todo aquel que la conoció, desde los líderes de nuestra aldea a los visitantes que llegaban a nuestra hacienda para pedirle consejo. Yo me beneficiaba directamente de ello cada día. No cabe duda de que le importaba mucho mi rumbo vital, mis elecciones e intereses. E igual que un jardinero riega y nutre una planta, ella se dedicó y afanó por cultivar la curiosidad de sus hijos.

Pero también tenía intereses propios. Cuando yo era un adolescente, volvió a la universidad y terminó su licenciatura. Luego empezó estudios de posgrado y se doctoró en literatura comparada. Sin embargo, estos proyectos no la alejaron de nosotros; de hecho, animado por ella, solía asistir a sus clases de filosofía de la carrera y a instancias de ella devoré muchos de los libros que tenía que leer.

Mi madre fue el motivo por el que me enamoré de la filosofía, en especial del existencialismo. Soñaba con ganarme la vida pensando. Los fines de semana solía coger una obra de filosofía, normalmente alguna de los existencialistas, incluidas las novelas que escribieron e inspiraron, y con el libro elegido me iba con el tractor a un lugar tranquilo en las colinas para leer durante horas.

. . .

Desde esos tiempos felices en la granja familiar he pensado que, si la humanidad encuentra alguna vez un planeta habitable en el que fundar una colonia de nuestra civilización, la gente que la habite seguramente se parecerá en aspecto y comportamiento a la de Beit Hanan. Como demuestra la historia humana, las necesidades urgentes por establecer colonias de una civilización son recurrentes.

Por necesidad, se centrarían en el cultivo de comida y en el esfuerzo colectivo por apoyarse mutuamente entre los más mayores y los más jóvenes. Todos tendrían que ser habilidosos y saber hacer varias cosas, ser capaces de reparar y diseñar maquinaria, cultivar tierras y educar a los jóvenes. También creo que fomentarían la vida intelectual, a pesar de su lejanía. Y sospecho que, cuando los niños llegaran a la edad adulta, descubrirían la misma expectativa que yo: el servicio obligatorio a la sociedad.

El servicio militar, que en Israel es obligatorio para todos los ciudadanos mayores de dieciocho años, interrumpió mi plan de convertirme en filósofo y abordar algunas de las preguntas fundamentales que han obsesionado a la humanidad durante siglos. Todos debían hacer el servicio militar. Como yo había demostrado aptitudes para la física en el instituto, me seleccionaron para el Talpiot, un nuevo programa en que dos docenas de reclutas al año emprendían proyectos de investigación en temas de defensa y recibían una intensa instrucción militar. Tuve que aparcar mis ambiciones académicas; el estudio de Jean-Paul Sartre y Albert Camus, los filósofos existencialistas que había leído de joven, no encajaban con el nuevo rol que se me había asignado. Durante mis años de servicio militar, el estudio de la física fue lo más parecido que encontré a una actividad intelectualmente creativa.

Aunque llevábamos el uniforme de las Fuerzas Aéreas israelíes, nos adiestraron en todas las secciones de las fuerzas de defensa. Recibimos instrucción básica de infantería, hicimos cursos

de combate en artillería e ingeniería y nos enseñaron a conducir tanques, a portar ametralladoras durante largas marchas nocturnas y a saltar en paracaídas desde un avión. Por suerte yo estaba en forma, así que las exigencias físicas eran duras pero llevaderas. Además de estas responsabilidades, me dedicaba con avidez a mis estudios académicos en la Universidad Hebrea de Jerusalén.

El Talpiot nos obligaba a estudiar física y matemáticas, que se me antojaban lo bastante parecidas a la filosofía, y yo veía cualquier estudio universitario con mucho mejores ojos que arrastrarme por el lodo con un fusil a la espalda. Con esa oportunidad, hice todo lo posible para justificar la fe del Gobierno en mí. También fue el momento en que empecé a darme cuenta de que la filosofía planteaba las preguntas fundamentales, pero muchas veces no las podía resolver. La ciencia, empecé a ver, me podía dar mejores herramientas para buscar las respuestas.

. . .

Tras tres años de estudio e instrucción militar, en teoría debía comenzar a cooperar con un proyecto industrial o militar con aplicaciones prácticas inmediatas. Pero yo seguí un camino más creativo, un camino que planteaba mayores retos intelectuales e investigadores. Fui a ver unas instalaciones que no figuraban en la lista oficial de centros de investigación y esbocé una propuesta revolucionaria. Por aquel entonces me había labrado un buen expediente tanto en clase como en la instrucción militar, así que los que mandaban en el Talpiot aprobaron mi idea: primero concediéndome una prueba de tres meses y, al final, aprobándola para los cinco años de servicio que me faltaban, de 1983 a 1988.

Mi trabajo evolucionó enseguida hacia nuevas direcciones, algunas de las cuales captaron la atención del ejército. Con la emoción de la innovación científica, diseñé una teoría para un nuevo proyecto (que desembocó en una patente). La idea era usar una descarga eléctrica para lanzar proyectiles a velocidades superiores a las que se pueden lograr con propulsores químicos convencionales. El proyecto fue creciendo hasta dar trabajo a un

departamento entero de doce científicos y fue el primer plan internacional que recibió financiación de la Iniciativa de Defensa Estratégica (SDI, por sus siglas en inglés), también llamada «guerra de las galaxias», el ambicioso programa de defensa con misiles anunciado por el presidente Ronald Reagan en 1983.

En ese momento, la Guerra Fría, la contienda que los Estados Unidos y la Unión Soviética llevaban décadas librando, la pugna entre democracia y comunismo, entre oeste y este, parecía un estado inmutable del orden mundial. Ambos bandos habían amasado arsenales gigantescos de armas nucleares, suficientes para destruirse entre sí múltiples veces. El Reloj del Apocalipsis, ideado por los miembros del *Bulletin of the Atomic Scientists* para advertir a la humanidad de la probabilidad de un cataclismo causado por nuestra especie, casi siempre marcaba que faltaban siete minutos para la medianoche.

La SDI formaba parte de esa pugna general. Su idea era usar láseres y otras armas avanzadas para destruir los misiles balísticos que arrojara el enemigo y, a pesar de disolverse en 1993, tuvo una gran importancia política a la hora de acelerar el fin de la Guerra Fría y el desmoronamiento de la Unión Soviética.

Esta labor también representó el esqueleto de mi tesis doctoral, que terminé cuando tenía veinticuatro años. El tema era la física del plasma, el más común de los cuatro estados fundamentales de la materia; es el material del que están hechos las estrellas, los rayos y algunas pantallas de televisión. (Por si os interesa saberlo, mi tesis se tituló *Aceleración de partículas a altas energías y amplificación de la radiación coherente por interacciones electromagnéticas en plasmas,* un título mucho menos pegadizo que el de este libro, sin duda.)

. . .

Pero pese a haberme doctorado, seguía sin saber cuál debía o iba a ser mi siguiente elección. No me convencía consagrar mi carrera a la física del plasma. Siempre tuve la tentación de volver a Beit Hanan y una parte de mí quería dar un giro de ciento ochenta

grados y regresar a la filosofía. Sin embargo, la cadena de decisiones, de las que solo tomé un puñado, me hicieron ir por otra vía.

Todo empezó en un autobús que tomé durante el servicio militar. El físico Arie Zigler, sentado a mi lado, mencionó de pasada que el centro más prestigioso de estudios de posgrado era el Instituto de Estudios Avanzados (IAS, por sus siglas en inglés) de Princeton, Nueva Jersey. Más tarde, durante una de mis visitas a los directivos de la SDI en Washington, y después en una conferencia sobre el plasma en la Universidad de Texas en Austin, me crucé con el «papa de la física del plasma», Marshall Rosenbluth. Yo sabía que antes había trabajado en el instituto y le pedí información. Enseguida se mostró favorable a que les hiciera una visita breve. Animado, llamé inmediatamente a Michelle Sage, la directora administrativa del IAS, y le pregunté si podíamos concertar una entrevista la semana siguiente. Me contestó que no permitían visitar a nadie y me pidió que le enviara mi currículum, y que ya me darían una respuesta.

Sin amilanarme, le envié por correo una lista de mis once publicaciones y volví a llamarla unos días más tarde. Entonces sí me dejó concertar una cita al final de mi estancia en los Estados Unidos. La mañana en cuestión llegué a su despacho antes de tiempo y Michelle dijo:

—Solo hay un profesor que tenga tiempo para atenderle: Freeman Dyson. Les voy a presentar.

No cabía en mí de alegría. Recordaba el nombre de Dyson de los libros de texto sobre electrodinámica cuántica. Al poco de recibirme en su despacho, Freeman dijo:

—Ah, es usted de Israel. ¿Conoce a John Bahcall? Le gustan los israelíes. —Debió de leer la curiosidad dibujada en mi rostro, porque añadió—: Su esposa, Neta, es israelí.

Confieso que no había oído hablar jamás de ese hombre, y menos aún de su esposa, Neta.

Averigüé que John Bahcall era astrofísico y poco después almorcé con él. Al terminar de comer me invitó a volver a Princeton para visitarles durante un mes. Y también me enteré de

que, mientras tanto, llevó a cabo averiguaciones a distancia, preguntando a los más insignes científicos israelíes, como Yuval Ne'eman, su opinión sobre mí. Fuera lo que fuera lo que le dijeran, al finalizar mi segunda visita John me llamó a su despacho y me ofreció una prestigiosa beca de cinco años, con la condición de que estudiara astrofísica.

Dije que sí, por supuesto.

. . .

La primera vez que me instaron a dedicarme profesionalmente a la astrofísica, no sabía ni siquiera qué era lo que hacía brillar al Sol. El área de especialización de Bahcall era la generación de partículas con poca interacción —llamadas neutrinos— en el interior ardiente de nuestro astro, con lo que mi ignorancia sobre la materia me avergonzaba aún más. Hasta ese momento, yo había estudiado sobre todo los plasmas terrestres y sus aplicaciones más terrenales.

Que quede claro que Bahcall sabía en qué campo había realizado mi investigación previa y me presentó su oferta igualmente. Entonces ya me pareció curioso que asumiera ese riesgo, pero ahora me lo parece todavía más. (Desde entonces la realidad del mundo académico ha cambiado y dudo que ahora se pudiera hacer una oferta similar a un joven experto.) Le estuve y le estoy agradecido. Acepté, decidido a demostrar que los instintos de Bahcall —y los instintos de todos los destacados científicos que me habían ayudado en mi trayectoria— no eran infundados.

Aunque tuve que esforzarme para aprender el vocabulario básico del campo antes de empezar a escribir artículos propios, el tema me era familiar. El plasma es un estado al que la materia llega a altas temperaturas, en el cual los átomos se separan y forman un mar de iones de carga positiva (átomos que han perdido algunos electrones) y de electrones libres con carga negativa. Aunque la mayor parte de la materia ordinaria en el universo actual (incluido el interior de las estrellas) está en estado de plasma, el campo estudia principalmente las condiciones en el

laboratorio, que distan bastante de las que hay en el espacio. Aprovechando mis puntos fuertes, la primera gran frontera que me aventuré a cruzar en mi investigación como astrofísico giró en torno a cuándo y cómo se transformó en plasma la materia atómica en el universo. Así dio inicio mi fascinación con el universo primitivo, el llamado amanecer cósmico, o con las condiciones en que se formaron las mismísimas estrellas.

Pasados tres años en el IAS, se me instó a presentarme a vacantes de profesor auxiliar, incluida una en el Departamento de Astronomía de Harvard. Yo era su segunda opción. El departamento no solía ofrecer a los auxiliares el puesto de profesor numerario, así que algunos candidatos —como la persona a quien ofrecieron el trabajo antes que a mí— se lo piensan dos veces antes de aceptarlo.

Por lo que a mí respecta, accedí gustosamente. Recuerdo que medité mucho la decisión. Pensé que, si no me ofrecían el puesto fijo, siempre podría volver a la finca de mi padre o retomar mi primer amor académico: la filosofía.

Llegué a Harvard en 1993. Al cabo de tres años, me hicieron fijo.

. . .

Ahora pienso que John Bahcall no solo tuvo fe en que podría asumir el cambio de la física de plasmas a la astrofísica, sino que vio en mí a un alma gemela, o incluso a una versión más joven de sí mismo. Bahcall había ingresado en la universidad con la idea de estudiar filosofía, pero enseguida llegó a la conclusión de que la física y la astronomía ofrecían un camino más directo a las verdades más esenciales del universo.

Yo tuve una epifanía paralela poco después de despedirme de John y del instituto. En el año 1993, cuando acepté el cargo de profesor auxiliar en la Universidad de Harvard, decidí que era demasiado tarde para dar un vuelco tan radical a mi carrera para volver a la filosofía. Y lo que es más importante, me había convencido de que mi «matrimonio concertado» con la astrofísica

me había acabado reuniendo con mi antiguo amor; solo que ataviado con ropa distinta.

Estaba empezando a entender que la astronomía aborda preguntas que antes estaban circunscritas a la esfera de la filosofía y la religión. Entre estas preguntas se cuentan las más grandes de todas: «¿Cómo empezó el universo?» y «¿Cuál es el origen de la vida?». También he aprendido que observar la inmensidad del espacio, contemplar el inicio y el fin de todo, allana el camino para responder a otra pregunta: «¿Qué es una vida digna de ser vivida?».

Muchas veces tenemos la respuesta ante nuestras narices. Solo debemos reunir el valor para asimilarla. Durante una visita a Tel Aviv en diciembre de 1997 tuve una cita a ciegas con Ofrit Liviatan. Me gustó nada más verla; y esa idea lo cambió todo. A pesar de la distancia que nos separaba, nuestra amistad se fue intensificando. No había conocido a nadie como ella y estaba seguro de que nunca iba a hacerlo.

Mucho antes de analizar los indicios sobre Oumuamua aprendí que, en todas las facetas de la vida, recabar las pruebas que se te presentan y analizarlas con fascinación, humildad y determinación lo puede cambiar todo; eso sí, siempre que nos abramos a las posibilidades que ofrecen los datos. Afortunadamente, en ese momento de mi vida yo lo hice.

Ofrit y yo nos casamos un par de años después y, como yo, ella acabó encontrando un trabajo en la órbita de Harvard como directora del programa de seminarios para alumnos de primer año. Ofrit y yo hemos criado a nuestras dos hijas en una antigua casa cerca de Boston, construida justo antes de que Albert Einstein presentara su teoría de la relatividad especial. La concatenación de causas que abarca la decisión de mi abuelo de abandonar Alemania en 1936 hasta el encuentro de mis padres en Beit Hanan, pasando por la infancia de Klil y Lotem en Lexington, me hace pensar que la línea que separa la filosofía, la teología y la ciencia es muy delgada. Ver a los niños acercarse poco a poco a la edad adulta me recuerda que los actos más mundanos de nuestra existencia denotan algo milagroso que se puede remontar hasta el *big bang*.

Con el tiempo, he acabado apreciando la ciencia un poco más que la filosofía. Los filósofos invierten una cantidad ingente de tiempo a comerse la cabeza; los científicos se dedican a dialogar sin parar con el mundo. Plantean a la naturaleza una serie de preguntas y escuchan atentamente las respuestas de los experimentos. Cuando se hace con franqueza, es una experiencia útil que nos llena de humildad. El éxito de la teoría de la relatividad de Einstein no se debió a su elegancia formal, fraguada mediante una serie de publicaciones entre 1905 y 1915. No fue aceptada hasta 1919, cuando *sir* Arthur Eddington, secretario de la Royal Astronomical Society de Inglaterra y también astrónomo, confirmó lo que la teoría había predicho: que la gravedad del Sol curvaría la luz. Para los científicos, lo que queda de una teoría después de su contacto con los datos es lo que se considera bonito.

Aunque lidio con las dudas existenciales de mi juventud de una forma notablemente diferente a como lo hacían Jean-Paul Sartre o Albert Camus, creo que el chico que conducía el tractor por los cerros de Beit Hanan estaría satisfecho con el resultado. Habría admirado la secuencia de oportunidades y elecciones que empezó con una cita a ciegas y acabó desembocando en una familia en Lexington.

Pero entiendo, de un modo que mi yo joven habría sido incapaz de entender, otra lección de la historia de nuestra familia, una lección que he guardado grabada en mi mente durante los últimos años, mientras estudiaba los visitantes interestelares de nuestro sistema solar.

A veces, casi por accidente, algo excepcionalmente raro y especial se cruza en tu camino. La vida da un giro cuando ves claramente lo que tienes delante.

. . .

En mi opinión, la odisea de mi vida me preparó para el encuentro con Oumuamua. Desde un punto de vista científico, mi experiencia me enseñó el valor de la libertad y la diversidad, sobre todo a la hora de elegir los ámbitos de investigación y los

colaboradores, respectivamente.

Los beneficios de que los astrónomos hablen con sociólogos, antropólogos, politólogos y, por supuesto, filósofos pueden ser tremendos. Con todo, me he dado cuenta de que, en el mundo académico, las carreras interdisciplinares tienden a compartir el destino de esas raras caracolas que el mar arrastra hasta la orilla: si nadie las recoge y las guarda, se van erosionando poco a poco hasta que las incansables olas del océano las transforman en granos de arena indistinguibles.

Durante toda mi carrera, han sido muchas las ocasiones en que podría haberme desviado por caminos diferentes y menos fortuitos. En mi trayectoria profesional he conocido a muchos expertos con títulos parecidos al mío, pero que no han gozado de las mismas oportunidades que yo. Si juzgamos honestamente a los catedráticos de todo el espectro académico, encontramos hombres y mujeres cuyas contribuciones dependen de las oportunidades que se les han concedido o denegado. Lo mismo puede decirse de casi todos los ámbitos de la vida.

Sabedor de que he sido bendecido por personas que me han brindado estas oportunidades, estoy firmemente comprometido con ayudar a los jóvenes a alcanzar todo su potencial, incluso si eso significa no solo cuestionar ideas ortodoxas, sino también, en ocasiones, prácticas ortodoxas más perniciosas. Como parte de esta misión, tanto en mis clases como en mi investigación me he esforzado mucho por mostrar una actitud hacia el mundo que algunos tacharían de infantil. Si la gente lo cree, no me voy a ofender. En mi experiencia, los niños siguen su brújula interna con más honestidad y menos pretensiones que muchos adultos. Y cuanto más jóvenes son las personas, menos probable es que cercenen sus pensamientos para imitar los actos de quienes las rodean.

Esta actitud con respecto a la ciencia me ha abierto la puerta a algunas de las posibilidades más ambiciosas —algunos dirían incluso que atrevidas— de los campos que estudio. Por ejemplo, la idea de que Oumuamua, el objeto interestelar avistado en octubre de 2017 dando tumbos por el espacio, no fue un fenómeno natural.

3

Anomalías

La ciencia es como un cuento de detectives. Y para los astrofísicos, este tópico incorpora un giro. No hay ningún otro campo de indagación científica que lidie con nuestra diversidad de escalas y conceptos. Cronológicamente, nuestro ámbito de estudio empieza antes del *big bang* y se prolonga hasta el fin de los tiempos, aun reconociendo que las mismas nociones de tiempo y espacio son relativas. Nuestra investigación desciende hasta los *cuarks* y los electrones, las partículas más pequeñas que se conocen; se extiende hasta el confín del universo; y abarca —directa o indirectamente— todo lo que hay entremedias.

Y una gran parte de nuestra labor detectivesca sigue incompleta. Aún no comprendemos la naturaleza de los principales componentes del universo, de forma que por ignorancia los llamamos materia oscura (que aporta cinco veces más a la masa cósmica que la materia ordinaria de la que estamos hechos nosotros) y energía oscura (que domina tanto la materia oscura como la ordinaria y que causa, al menos por ahora, la peculiar aceleración cósmica). Tampoco entendemos qué detonó la expansión del universo ni qué sucede dentro de los agujeros negros: dos áreas de estudio en las que he trabajado mucho desde que di el salto a la astrofísica hace un montón de años.

Hay tantas cosas que no sabemos que a menudo me pregunto si otra civilización, una que hubiera tenido la suerte de estudiar ciencia durante mil millones de años, nos consideraría siquiera seres inteligentes. La posibilidad de que nos dispensaran este cumplido, pienso, no dependería de lo que sabemos, sino de cómo

lo sabemos; en particular, de nuestra fidelidad al método científico. Será la búsqueda rigurosa y sincera de información que confirme o desmienta hipótesis la que determinará si la humanidad puede optar al título de inteligencia universal.

Muchas veces, lo que pone en marcha el periplo detectivesco de un astrofísico es el descubrimiento de una anomalía en los datos de los experimentos u observaciones, un indicio que no concuerda con lo esperado y que no se puede explicar con lo que sabemos. En tales situaciones, el método habitual es proponer una serie de explicaciones alternativas e irlas descartando una por una en función de los nuevos indicios hasta que se halla la interpretación correcta. Este fue el caso, por ejemplo, cuando Fritz Zwicky descubrió la materia oscura a comienzos de los años treinta, basándose en la observación de que el movimiento de las galaxias en cúmulos indicaba que tenía que haber más materia que la que podíamos ver en el telescopio. Su propuesta fue ignorada hasta los setenta, cuando nuevos datos en el movimiento de las estrellas de las galaxias y la velocidad de expansión del universo aportaron pruebas concluyentes de ello.

Este proceso de cribado puede dividir —e incluso fracturar— sectores académicos enteros, enfrentando entre sí a explicaciones y partidarios hasta que, a veces, una parte aporta pruebas definitivas.

Esto es lo que ha pasado en el debate sobre Oumuamua, un debate que, a falta de pruebas definitivas, sigue en curso. De hecho, antes de empezar vale la pena admitir que la posibilidad de que los científicos obtengan pruebas definitivas algún día es muy remota. Alcanzar y fotografiar a Oumuamua es imposible. Los datos que tenemos son los únicos que recabaremos jamás, cosa que nos impone la tarea de crear hipótesis que expliquen por completo las pruebas. Naturalmente, esta es una labor cien por cien científica. Nadie puede inventar nuevas pruebas, nadie puede ignorar aquellas que refutan una hipótesis, ni nadie puede sacarse de la chistera eso de «Y entonces se obra el milagro» (como en la antigua viñeta del científico que se las ve con una compleja ecuación). No obstante, quizás la elección más peligrosa e

inquietante con respecto a Oumuamua sería decir: «Aquí no hay nada que ver, a otra cosa, hemos aprendido lo que podíamos aprender y más nos vale volver a lo que hacíamos antes». Por desgracia, de momento parece que es lo que han decidido hacer muchos científicos.

Al principio, el debate científico sobre Oumuamua fue relativamente sosegado. Yo lo atribuyo a que, en un primer momento, no éramos conscientes de las anomalías más curiosas del objeto. Esta historia de detectives parecía un caso claro: la explicación más probable para Oumuamua —que era un cometa o asteroide interestelar— también era la más simple y conocida.

Pero a medida que fue avanzando el otoño de 2017, el análisis de los datos nos dejó pasmados tanto a mí como a una parte considerable de la comunidad científica internacional. Yo —y, repito, una parte considerable de la comunidad científica internacional— era incapaz de hacer encajar los resultados con la hipótesis de que Oumuamua fuera un cometa o un asteroide interestelar. A todos nos costaba ajustar las pruebas a esa hipótesis, así que empecé a formular hipótesis alternativas que explicaran las peculiaridades de Oumuamua que se iban acumulando.

. . .

Sea lo que sea lo que acabemos concluyendo acerca de Oumuamua, la mayoría de los astrofísicos convendrían en que fue —y sigue siendo— una anomalía en sí misma.

En primer lugar, antes del descubrimiento de Oumuamua, en nuestro sistema solar no se había observado ningún otro objeto interestelar confirmado. Este hecho por sí solo lo convirtió en algo histórico y atrajo la atención de muchos astrónomos, lo cual dio pie a que se recabaran más datos, que se interpretaron y revelaron más anomalías, lo cual atrajo la atención de todavía más astrónomos, etcétera.

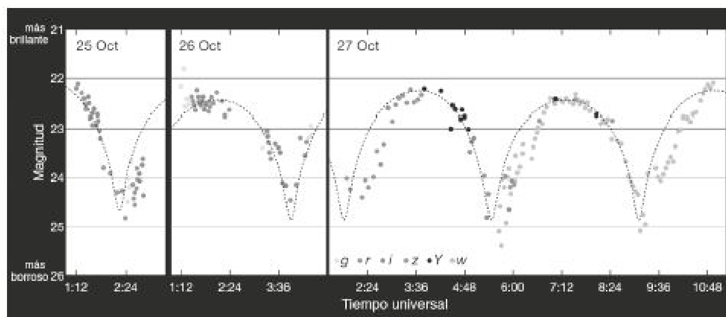
Con la divulgación de estas anomalías empezó la auténtica labor detectivesca. Cuanto más sabíamos de Oumuamua, más claro estaba que este objeto era tanto o más misterioso que lo que decía

la prensa.

Tan pronto como el observatorio de Hawái anunció su descubrimiento, y a pesar de que Oumuamua estaba dirigiéndose a toda prisa hacia la periferia del sistema solar, astrónomos de todo el globo apuntaron hacia él una serie de telescopios. La comunidad científica se mostró curiosa, como poco. Era como si una persona hubiese ido a cenar a nuestra casa y no hubiéramos reparado en todas sus extrañas cualidades hasta después de que hubiera salido por la puerta y hubiera empezado a recorrer la oscura calle. Los científicos teníamos dudas acerca de nuestro visitante interestelar y teníamos muy poco margen para seguir recopilando información, cosa que hicimos volviendo a los datos ya recabados de nuestro huésped y observando su menguante figura mientras se desvanecía en la noche.

Una duda apremiante era saber qué aspecto tenía Oumuamua. No disponemos de ninguna fotografía nítida del objeto por la que guiarnos. Pero sí tenemos datos de todos esos telescopios que, durante cerca de once días, se dedicaron a averiguar todo lo posible. Y en cuanto tuvimos a Oumuamua en el punto de mira, nos fijamos en un parámetro en particular: cómo reflejaba la luz solar.

Nuestro Sol actúa como un farol. No solo alumbra a todos los planetas que orbitan en torno a él, sino también a todos los objetos que se acercan lo suficiente y que son lo bastante grandes como para verlos desde la Tierra. Para entenderlo, antes debéis saber que, en casi todos los casos, dos objetos que se crucen rotarán uno con respecto al otro. Teniendo eso presente, imaginaos una esfera perfecta que pase como un rayo al lado del Sol en su tránsito por nuestro sistema solar. La luz del Sol reflejada en su superficie no variará, porque el área de la esfera rotatoria que mira al astro no varía. Ahora bien, cualquier otra cosa que no sea una esfera reflejará una cantidad variable de luz a medida que el objeto rote. Por ejemplo, un balón de *rugby* reflejará más luz cuando uno de sus lados alargados esté de cara al sol, y menos luz cuando las puntas apunten a la estrella.



Variación en el brillo de Oumuamua durante el día (en horas) de acuerdo con lo que observaron diferentes telescopios durante tres días en octubre de 2017. Los puntos representan mediciones a través de varios filtros en las longitudes de onda visibles y cercanas al infrarrojo del espectro de color. La cantidad de luz solar reflejada cambiaba periódicamente por un factor de diez (2,5 magnitudes), y Oumuamua rotaba cada ocho horas. Esto significaba que tenía una forma alargada y que era al menos diez veces más largo que ancho al proyectarlo en el cielo. La línea discontinua blanca muestra la curva que tendría Oumuamua si fuera un elipsoide con una relación de aspecto 1:10. Mapping Specialists, Ltd. Adaptación de European Southern Observatory/K. Meech et al. (CC BY 4.0)

Para los astrofísicos, las alteraciones en el brillo de un objeto aportan claves de incalculable valor para conocer su forma. En el caso de Oumuamua, el brillo del objeto variaba por un factor diez cada ocho horas, según se deduce de la cantidad de tiempo que tardaba en completar una rotación entera. Esta drástica variabilidad en el brillo nos hizo pensar que Oumuamua tenía una silueta alargada, de una longitud al menos cinco o diez veces superior a su anchura.

A estas dimensiones se sumaron otros datos respecto al tamaño. Podíamos afirmar con certeza que el objeto era relativamente pequeño. El hecho de que pasara cerca del Sol quiere decir que Oumuamua había de tener una temperatura de superficie muy caliente, algo que la cámara de infrarrojos del Telescopio

Espacial Spitzer, lanzado por la NASA en 2003, habría podido ver. Sin embargo, la cámara del Spitzer no pudo detectar que Oumuamua desprendiera ningún calor. Esto nos llevó a deducir que tenía que ser pequeño y, por tanto, difícil de detectar para el telescopio. Calculamos que mediría unos cien metros de largo, más o menos lo que mide un campo de fútbol, y unos nueve metros de ancho. Tened en cuenta que incluso un objeto afilado como una navaja a menudo parece tener cierta anchura según su orientación en el cielo, o sea, que Oumuamua podría ser incluso más estrecho.

Asumamos que las dimensiones mayores son las correctas y que el objeto medía cientos de metros por decenas de metros. Esto significaría que, en términos de relación de aspecto —o la anchura en relación a la altura—, la geometría de Oumuamua sería varias veces más alargada que los asteroides o cometas más alargados que hayamos avistado jamás.

Imaginad que dejáis el libro y vais andando a alguna parte. Os encontráis con otras personas. Tal vez os sean extrañas y seguro que todas tienen un aspecto diferente, pero por sus proporciones son inmediatamente reconocibles como humanas. Si Oumuamua fuera uno de esos transeúntes, tendría una cadera más estrecha que la muñeca. Si vierais a una persona así, pondríais en duda, o bien vuestra vista, o bien vuestra concepción de las personas. Este fue esencialmente el dilema que afrontaron los astrónomos cuando empezaron a interpretar los primeros datos de Oumuamua.

. . .

Como ocurre en todas las buenas historias de detectives, las pruebas que surgieron sobre Oumuamua en el año posterior a su descubrimiento nos permitieron desechar algunas teorías y descartar hipótesis que no se ceñían a los hechos. El brillo de Oumuamua durante la rotación nos aportó claves cruciales sobre el aspecto que no podía tener y sobre el aspecto que sí podía tener. En este sentido, las dimensiones relativamente pequeñas pero alargadas del objeto —al menos cinco o diez veces más largo que ancho— solo avalaban dos posibles formas. Nuestro visitante

interestelar podía ser alargado, como un puro, o plano, como una tortita.



Representación artística de Oumuamua como una roca alargada en forma de puro. Esta ha acabado siendo la ilustración dominante del objeto interestelar. ESO/M. Kornmesser

Fuera como fuese, Oumuamua era una rareza. Si era alargado, nunca habíamos visto un objeto espacial de origen natural que tuviera ese tamaño y fuera tan largo; si era plano, tampoco habíamos visto jamás un objeto espacial de origen natural con ese tamaño y tal forma. Para poneros en contexto, debéis saber que todos los asteroides detectados hasta entonces en el sistema solar tenían relaciones de aspecto de tres, a lo sumo. Como acabo de señalar, Oumuamua tenía una de entre cinco y diez.

Y hay más.

Además de ser pequeño y tener una forma singular, Oumuamua despedía una luminosidad extraña. A pesar de su minúsculo tamaño, al pasar cerca del Sol y reflejar su luz, el objeto resultó ser relativamente brillante, como mínimo diez veces más que los asteroides o cometas típicos del sistema solar. En caso de que, como parece posible, Oumuamua midiera varias veces menos

que los cientos de metros que los científicos le atribuyeron, su reflectancia se acercaría a valores sin precedentes; unos niveles de brillo similares a los de un metal reluciente.

. . .

Cuando se anunció el descubrimiento de Oumuamua, todas estas peculiaridades fueron llamativas. Juntas, planteaban una incógnita a los astrónomos. Juntas, exigían una hipótesis capaz de explicar por qué un objeto de origen natural —en ese momento nadie defendía que fuera otra cosa— tenía características tan raras desde el punto de vista estadístico.

Tal vez, razonaron los científicos, los extraños atributos del objeto se debieran a su exposición a la radiación cósmica a lo largo de los cientos de miles de años durante los cuales había surcado el espacio interestelar antes de llegar a nuestro sistema solar. En teoría, la radiación ionizante podría haber erosionado considerablemente una roca interestelar, aunque no está claro cómo un proceso así podría haber provocado la forma de Oumuamua.

O quizás el motivo de sus peculiaridades radicara en su origen. Quizás un planeta lo expulsó violentamente con un efecto de onda gravitatoria, lo cual podría explicar algunas de sus características. Si un objeto de tamaño adecuado se acerca lo suficiente a un planeta, una parte de dicho planeta podría ser arrancada y propulsada al espacio interestelar como si fuera lanzada por una honda. O tal vez fue liberado con suavidad de la capa de objetos congelados que orbita en los confines de un sistema solar, algo parecido a la nube de Oort del nuestro.

Podríamos plantear una hipótesis a partir de las suposiciones sobre el tránsito y el origen de Oumuamua. Si su forma extravagante y las propiedades reflectantes hubieran sido los únicos rasgos distintivos de Oumuamua, cualquiera de estas teorías podría haber sido satisfactoria. En ese caso habría mostrado curiosidad, pero me habría dado por satisfecho.

Pero me sentí obligado a participar en esta investigación

detectivesca por una simple razón. Me refiero a la anomalía más llamativa de Oumuamua.

Cuando Oumuamua se aceleró en su camino alrededor del Sol, su trayectoria se desvió de la que cabría esperar por la mera gravedad de nuestra estrella.[1]No había ninguna explicación obvia del motivo.

Este fue, para mí, el dato más desconcertante de los que se acumularon durante las cerca de dos semanas que pudimos observar a Oumuamua. Esta anomalía, sumada a las otras informaciones que los científicos habían amasado, me llevó a formar enseguida una hipótesis sobre el objeto que me enfrentó a la mayor parte del estamento científico.

. . .

Durante el frenesí posterior a mi articulación de la hipótesis sobre Oumuamua, me encontré ante una sala llena de reporteros y un mar de micrófonos. Acababa de dar tres entrevistas de sesenta minutos y era la hora de comer; tenía hambre. O sea, que en lugar de erigir una defensa minuciosa de mi hipótesis sobre Oumuamua, cité a uno de mis predecesores en el campo de la astronomía con la esperanza de que impulsara a toda la gente a tener la mente abierta.

Recordé al público la afirmación que hizo Galileo en el siglo XVII de que, a juzgar por lo que se veía a través de su telescopio, la Tierra orbitaba alrededor del Sol. Es una de las anécdotas más conocidas y trilladas de los anales de la ciencia: con la publicación de su tratado *Sidereus Nuncius* (traducible como *El mensajero de las estrellas*) en 1610, Galileo describió sus observaciones planetarias con un telescopio y afirmó, basándose en estas pruebas, su conformidad con la teoría heliocéntrica del sistema solar. Los datos de Galileo implicaban que la Tierra, junto con todos los demás planetas, giraba alrededor del Sol. Esto contravenía de plano las enseñanzas de la Iglesia católica, que acusó a Galileo de herejía. Tras un juicio en el que, según se cuenta, los responsables de la acusación se negaron incluso a mirar por su telescopio, Galileo fue

declarado culpable de herejía y pasó el resto de su vida, casi una década, en arresto domiciliario.

Galileo tuvo que renunciar a sus datos y su descubrimiento y desdecirse de la afirmación de que la Tierra giraba alrededor del Sol, pero la leyenda dice que, al final, susurró para sí: «Y, aun así, se mueve». Seguramente la historia es apócrifa; e incluso si fuera cierta, daría lo mismo (al menos para Galileo). El consenso se impuso a la evidencia.

En la rueda de prensa no me explayé con todo esto, evidentemente; me limité a aludir a la historia del famoso astrónomo. Pero, como era de prever, un periodista metió baza: ¿está diciendo que usted es Galileo? No, para nada. Lo que quería transmitir es que la historia nos ha enseñado a seguir analizando sin descanso las características de Oumuamua, a poner a prueba nuestras hipótesis y, cuando otros intentan silenciarnos, a susurrar para nosotros mismos: «Y, aun así, se desvió».

. . .

Para saber por qué la desviación de Oumuamua fue una anomalía tan grande y por qué me llevó a formular una hipótesis que ha generado una controversia y una resistencia tan intensas, tenemos que volver a los principios básicos. Recordemos una de las leyes físicas más fundamentales que lo rigen todo. Hablamos de la primera ley del movimiento de *sir* Isaac Newton: «Todo objeto sigue en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta a menos que se le apliquen fuerzas que le obliguen a cambiar ese estado».

Una bola en una mesa de billar seguirá inmóvil a pesar de que haya otras catorce bolas pululando alrededor. Seguirá sin moverse hasta que la golpee otra bola.

Una bola solitaria encima de una mesa de billar seguirá inmóvil hasta que la golpee un taco.

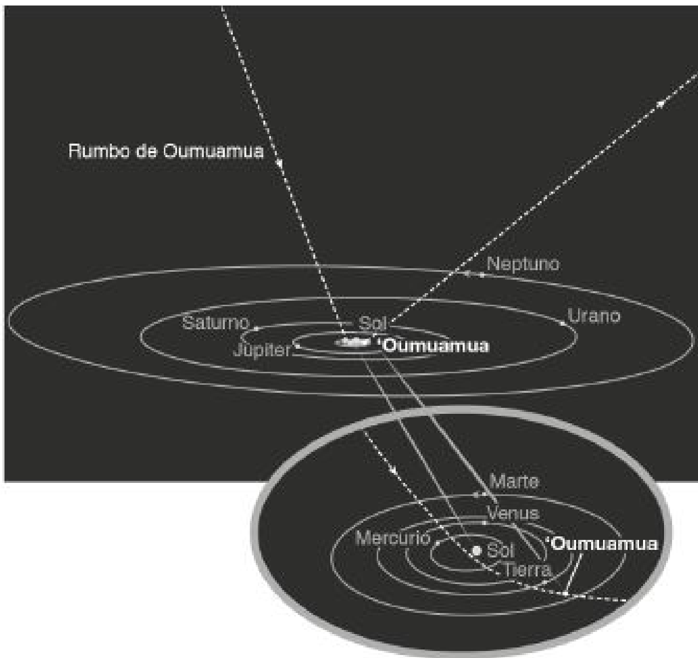
Una bola permanecerá estática encima de una mesa de billar hasta que alguien alce un borde de la mesa.

Una bola yacerá en una mesa de billar sin moverse hasta que

de repente aparezca una depresión cónica en medio de la mesa.

En cualquiera de los dos últimos casos, la gravedad se impone y la bola empieza a moverse. Una vez en movimiento, se desplazará en una línea dictada por la fuerza que actúa sobre ella, y la seguirá hasta que otra fuerza actúe sobre ella de nuevo.

Oumuamua entró en nuestro sistema solar siguiendo una trayectoria más o menos perpendicular al plano orbital de la Tierra y del resto de los planetas.



Trayectoria de Oumuamua por el sistema solar; se muestra la ubicación (recuadro) del objeto y de los planetas el 19 de octubre de 2017, la fecha en que Oumuamua fue descubierto por PanSTARRS. A diferencia de todos los asteroides y cometas observados hasta entonces, este objeto no estaba atrapado por la gravedad del Sol. Oumuamua vino del espacio interestelar y regresó a él con el impulso que cogió al pasar cerca del Sol. Mapping Specialists, Ltd. Adaptación de European Southern Observatory/K. Meech *et al.* (CC BY 4.0)

Igual que el Sol ejerce su fuerza gravitatoria sobre esos ocho planetas y las demás cosas que orbitan a su alrededor, la ejerció sobre Oumuamua. El 9 de septiembre de 2017, Oumuamua giró en torno al Sol a unos 300.000 kilómetros por hora, cogió impulso con la gravedad del astro y salió despedido en otra dirección. A partir de ahí, siguió su trayecto por el sistema solar y hacia el exterior.

Las leyes universales de la física nos permiten predecir de forma infalible cuál debería ser la trayectoria de un objeto concreto a medida que viaja rápidamente alrededor del Sol. Pero Oumuamua no se comportó como se esperaba.

En junio de 2018, los investigadores anunciaron que su trayectoria se había desviado levemente, aunque en una medida estadísticamente significativa, del rumbo en el que debería haberlo puesto la mera gravedad del Sol. El motivo es que se alejó del Sol acelerando, impulsado por una fuerza adicional que disminuyó más o menos siguiendo la ley de la inversa del cuadrado respecto al Sol. ¿Qué fuerza de repulsión, contraria a la fuerza gravitatoria de atracción, puede ejercer el Sol?

Hay cometas del sistema solar que muestran una desviación parecida a la de Oumuamua, pero dejan tras de sí un reguero de polvo y vapor por el hielo que calienta la luz solar.

Con suerte, habréis avistado algún cometa desde vuestro jardín. Seguro que habéis visto fotografías o representaciones artísticas de cometas; sus centros, o núcleos, desprenden un brillo borroso y dejan atrás largas cabelleras de luz. El brillo y el rastro que dejan tras de sí se deben a que los cometas son rocas congeladas de variado tamaño. Su hielo está compuesto sobre todo de agua, pero, plasmando la distribución aleatoria de materiales por todo el universo, a menudo ese hielo contiene otras sustancias como amoníaco, metano y carbono. Sea cual sea la composición del hielo, se suele evaporar y convertir en una nube de gas y polvo que dispersa la luz del Sol cuando el cometa pasa a su lado. Esto es lo que genera la coma, la atmósfera envolvente de rocalla y hielo evaporado que confiere al cometa su brillo y genera su característica cola.

Si esa cabellera os recuerda al combustible que sale despedido

de un cohete, no vais desencaminados. El hielo evaporado actúa como un reactor que propulsa el cometa. Debido a ese efecto cohete, un cometa en proceso de desgasificación se puede desviar de la trayectoria que seguiría si solo le afectara la gravedad del Sol. De hecho, cuando los astrónomos observan un cometa así, podemos ser precisos. Cuando vemos un cometa que se está desgasificando y medimos el grado de desviación, podemos calcular cuánta masa del cometa se ha consumido para darle este impulso extra.

Si el impulso extra que propulsó a Oumuamua se hubiera derivado del efecto cohete, como pasa con los cometas, nuestro objeto interestelar debería haber perdido una décima parte de su masa para salir despedido como lo hizo. Esta cantidad de gas no es lo bastante nimia como para haber eludido a nuestros telescopios. Pero las observaciones profundas del espacio en torno a Oumuamua no revelaron ningún rastro de agua, de gases carbónicos o de polvo, así que se descartaría la posibilidad de que fuera propulsado por vapor o por partículas visibles de polvo. Además, su velocidad de rotación no cambió como debería haber cambiado si los reactores de un costado le hubieran estado impeliendo hacia el otro, como suelen hacer los cometas. En tal caso, esa colosal evaporación también habría alterado el periodo de rotación de Oumuamua,[2]un fenómeno que se advierte en los cometas del sistema solar. Pero no se registró ningún cambio en la velocidad de rotación.

En definitiva, todos estos misterios se pueden resumir en uno solo: la desviación de Oumuamua de su rumbo previsto. Todas las hipótesis respecto a su esencia deben explicar esa desviación. Y eso implica explicar la fuerza que actuó sobre el objeto, atendiendo al hecho de que, si hubo alguna cabellera cometaria de gas y polvo en pos de él, esa cabellera fue lo bastante liviana como para pasar inadvertida para nuestro equipamiento.

. . .

Por ahora, la comunidad científica ha convenido en la

hipótesis de que Oumuamua era un cometa, aunque peculiar. Una ventaja de esta hipótesis es la familiaridad. Hemos observado muchos cometas cuyas trayectorias se desviaron del rumbo dictado por la mera gravedad del Sol. También sabemos por qué sucede: en todos los casos, se debe a la desgasificación.

Pero, como acabo de exponer, Oumuamua no mostró ninguna desgasificación y, aun así, se desvió.

Sabemos que Oumuamua no dejó ningún rastro de desgasificación visible para la cámara de infrarrojos a bordo del Telescopio Espacial Spitzer. Tras ser lanzado en 2003, Spitzer se pasó casi dos décadas deambulando a unos doscientos cincuenta millones de kilómetros de la Tierra y recogiendo una cantidad de información excepcionalmente detallada sobre nuestro universo. Y aunque en 2009 se agotaron sus reservas de helio líquido, usado para refrigerar algunos de sus instrumentos para poder seguir funcionando, el Conjunto de Cámaras de Infrarrojos (IRAC, por sus siglas en inglés) siguió operativo hasta enero de 2020, momento en el que se le acabó dando el pasaporte.

La cámara de infrarrojos del Telescopio Espacial Spitzer era ideal para calcular cuánto dióxido de carbono despedían los cometas. Con una cámara de este tipo, una cantidad suficiente de dióxido de carbono se puede ver perfectamente. Como el conglomerado helado de los cometas suele estar formado por carbono y suele evaporar dióxido de carbono al ser sometido a calor y tensión, usábamos a menudo el Spitzer para observar el paso de los cometas.

El IRAC estuvo apuntando a Oumuamua durante treinta horas mientras nuestro visitante interestelar dejaba atrás el Sol. Si hubiera habido trazas de dióxido de carbono en la desgasificación de Oumuamua, la cámara las habría detectado. Pero el IRAC no vio nada, ni un rastro de gas detrás del objeto ni el objeto en sí mismo, de eso no cabe duda. (Curiosamente, el Telescopio Espacial Spitzer tampoco detectó ningún calor emitido por Oumuamua, así que tiene que ser más brillante que un cometa o asteroide convencional; es el único modo en que podría haber reflejado tanta luz solar pese a ser lo bastante pequeño para no producir mucho

calor.)

En un artículo que resumía sus descubrimientos, los científicos que analizaron los datos del IRAC reconocieron que no habían «detectado el objeto».[3]Así y todo, añadieron: «La trayectoria de Oumuamua revela aceleraciones no gravitatorias que son sensibles al tamaño y a la masa y que, probablemente, son causadas por emisiones de gas».

«Probablemente.» Tras añadir ese interrogante en medio de la frase, los autores concluyeron el resumen de su artículo, sin mojarse, de esta manera: «Nuestros resultados ahondan el misterio que envuelve los orígenes y la evolución de Oumuamua».

Otros científicos con equipos de última generación cosecharon resultados parecidos a los datos de IRAC. En 2019 un grupo de astrónomos revisó las imágenes[4]captadas por el Observatorio Solar y Heliosférico (SOHO, por sus siglas en inglés) y el Observatorio de Relaciones entre el Sol y la Tierra (STEREO, por sus siglas en inglés) a principios de septiembre de 2017, cuando Oumuamua estaba cerca del perihelio, el punto más próximo al Sol. Construidos para observar el Sol, STEREO y SOHO no tenían el propósito de encontrar cometas; eso sí, cuando el segundo identificó su cometa número tres mil, la NASA lo declaró «el mayor buscador de cometas de todos los tiempos».[5]Igual que Spitzer, SOHO y STEREO no detectaron nada en la zona; para estos dispositivos, Oumuamua no fue visible. Esto solo puede significar que Oumuamua tenía un «índice de producción de agua [...] al menos diez veces inferior al de todos los límites anteriormente notificados».

Pasó inadvertido para el IRAC de Spitzer, para SOHO y para STEREO; y, aun así, Oumuamua se desvió.

. . .

Para explicar su trayectoria y mantener la tesis de que era un cometa, los científicos han tensado hasta el límite sus teorías acerca del tamaño y la composición del objeto. Por ejemplo, algunos han planteado que el hielo de Oumuamua estaba

compuesto íntegramente de hidrógeno,[6]una composición extrema que explicaría por qué IRAC no lo vio. (La desgasificación de carbono es visible para la cámara de infrarrojos de IRAC, pero la desgasificación de hidrógeno puro no lo sería.) En un minucioso artículo, mi colaborador coreano Thiem Hoang y yo calculamos que un iceberg de hidrógeno que viajara por el espacio interestelar se evaporaría mucho antes de llegar a nuestro sistema solar. El hidrógeno es el elemento más ligero de la naturaleza, así que es fácil que la radiación interestelar, las partículas de gas y polvo y los rayos cósmicos de energía lo calienten hasta el punto de ebullición y lo despeguen de las superficies congeladas. De hecho, la periferia del sistema solar está repleta de cometas congelados expuestos a las mismas inclemencias (y el viento solar no los puede proteger porque está limitado por la presión del medio interestelar mucho más cerca del Sol). Pero un cometa de hielo formado por hidrógeno puro —o, ya puestos, por cualquier elemento puro— sería increíblemente raro. Nunca hemos visto nada ni remotamente parecido.

O, mejor dicho, no sabemos de nada parecido que ocurra de forma natural. Claro que hemos fabricado cosas así; por ejemplo, los cohetes espaciales, para los cuales el hidrógeno puro es el combustible ideal.

Y la hipótesis del cometa en vías de desgasificación entraña otra dificultad más, al margen de que Oumuamua soltara hidrógeno puro o no. Al desviarse, su aceleración fue fluida y constante. Los cometas son rocas que van dando tumbos; su superficie escarpada e irregular conserva el hielo de forma desigual. A medida que el Sol funde el hielo y la desgasificación propulsa el objeto, lo hace a lo largo de una superficie escarpada y agrietada. El resultado es el que cabría esperar: una aceleración desigual. Pero esto no es lo que observamos en Oumuamua. Lo cierto es que hizo todo lo contrario.

¿Qué probabilidades hay de que un cometa de origen natural compuesto íntegramente de hidrógeno congelado se desgasifique en un sitio y genere una aceleración uniforme? Más o menos las mismas que tienen los procesos geológicos naturales de producir

una nave espacial.

Además, para explicar el grado de desviación de Oumuamua, se tendría que haber desgasificado una porción estadísticamente significativa de su masa total. El impulso no gravitatorio fue considerable —cerca de un 0,1 % de la aceleración causada por la gravedad del Sol—; así pues, para que la desgasificación del cometa pudiera causar la desviación, el proceso tendría que haber consumido al menos el 10 % de la masa de Oumuamua. Es demasiado. Y, obviamente, cuanto mayor es el tamaño que atribuimos al objeto, mayor será la cantidad de material que representa este porcentaje: un 10 % de mil metros de material es más que un 10 % de cien metros de material.

Por tanto, cuanto mayor es el volumen de material que suponemos que Oumuamua tuvo que soltar de manera invisible, menos probable es que fuéramos incapaces de observarlo. Y cuanto menores son las dimensiones que atribuimos a Oumuamua para explicar por qué no vimos el material desgasificado, más excepcionales se vuelven su luminosidad y la relación de aspecto (y más brillante tendría que haber sido).

. . .

La desgasificación no es lo único que podría hacer desviar un objeto del rumbo marcado solo por la gravedad del Sol. Otra explicación sería la desintegración del objeto.

Si un objeto se fractura, se resquiebra y se convierte en trozos más pequeños rodeados de polvo y partículas, esos objetos más pequeños siguen una nueva trayectoria. Así, si Oumuamua se empezó a desmenuzar más o menos al llegar al perihelio, esa desintegración podría haber provocado que el objeto se desviara del rumbo dictado por la gravedad solar.

El problema de esta explicación en el caso de Oumuamua es que, igual que sucede con la desgasificación, nuestros telescopios deberían haber podido registrar algo; en este caso, los fragmentos y el polvo residual de dicha desintegración. Es improbable que el hielo no contuviera carbono; y es todavía menos probable que una

roca que se estuviera desintegrando no contuviera carbono. Además, habría que considerar si un conjunto de objetos más pequeños parecerían un único cuerpo. Los indicios muestran que Oumuamua siguió rotando cada ocho horas como un objeto sólido con una forma alargada fija.

La aceleración uniforme del objeto también desafía la hipótesis de que Oumuamua se fracturara en un punto cercano al perihelio, que se desmenuzara y perdiera suficiente masa para desviarse del rumbo. Nuestros instrumentos no observaron restos que indicaran esa fractura y desintegración; de hecho, vimos indicios de lo contrario: una aceleración suave y constante. Si Oumuamua se hubiera empezado a hacer añicos, las posibilidades de que hubiera conservado una aceleración uniforme vuelven a ser muy nimias. Imaginaos que lanzáis al aire una bola de nieve y que de repente estalla en mil pedazos, pero ninguno de los pedazos cambia de trayectoria.

Para que la hipótesis de la desintegración se sostenga, debemos asumir premisas aún más exóticas sobre la composición de Oumuamua con tal de explicar por qué no percibimos el vapor de los restos fragmentados. Con la fragmentación, nuestros instrumentos tendrían que haber detectado algo más. A fin de cuentas, si una roca se desintegrara en un cúmulo de pedazos, aumentaría la superficie total, con lo que se generarían aún más gases y calor cometario que con el mero objeto original.

Y luego sabemos que la fuerza extra que actuó sobre Oumuamua, la fuerza que le hizo desviarse, se redujo de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al Sol. Si la fuerza adicional fuera fruto de la desgasificación, cabría esperar una desaceleración más rápida del objeto a medida que se alejara rápidamente del Sol. La evaporación de hielo y agua se detiene porque la luz solar no calienta lo suficiente, con lo que se pone fin al efecto cohete. Un cohete se agota y la fuerza extra que estaba ejerciendo sobre un objeto se acaba de forma abrupta; fuera cual fuese la trayectoria que estuviera siguiendo el objeto en ese momento, será la trayectoria que seguirá en adelante. Esto no es lo que vimos hacer a Oumuamua. De nuevo, la fuerza que actuó sobre

él disminuyó de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que lo separaba del Sol.

¿Qué más pudo impulsar a Oumuamua con esta uniformidad de ley potencial? Una posibilidad es el impulso de la luz del Sol reflejada sobre la superficie de Oumuamua. Pero para que esto fuera efectivo, la relación entre superficie y volumen tendría que ser excepcionalmente grande. La razón es que el impulso solar actúa sobre la superficie del objeto, mientras que la masa de un objeto (con una densidad de material particular) aumenta al ritmo de su volumen. De ahí que la aceleración de un objeto aumente proporcionalmente a la relación entre superficie y volumen, que se maximiza en los cuerpos geométricos extremadamente delgados.

Cuando leí las informaciones que señalaban que la fuerza extra sobre Oumuamua disminuyó de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al Sol, me planteé qué podía estar propulsándolo, ya que no era la desgasificación ni la desintegración. La única explicación que se me ocurrió fue que la luz solar rebotara en su superficie como el viento sobre una vela delgada.

. . .

Otros científicos se estaban devanando los sesos para dar sus propias explicaciones. Tratando de ofrecer una teoría que diera cuenta de todos los datos, un científico del Jet Propulsion Laboratory de la NASA presentó una nueva hipótesis, fundamentada en la conocida propensión de los cometas minúsculos en órbitas casi parabólicas a desintegrarse justo delante del perihelio. Según él, este pudo ser el destino de Oumuamua. Al desviarse de la trayectoria determinada por la gravedad del Sol, se había convertido en una nube esponjosa de polvo. O, usando su terminología más precisa, Oumuamua se convirtió en «un amasijo desvolatilizado de granos de arena vagamente unidos, tal vez con una forma extraña, con propiedades rotatorias peculiares y con una porosidad extremadamente elevada, una serie de atributos adquiridos durante el proceso de desintegración».[7]

Por más vaporosa que fuera la composición de esta nube de polvo, esta hipótesis sigue exigiendo que Oumuamua estuviera unido en cierto grado. Al fin y al cabo, lo que fuera que quedaba poseía suficiente integridad estructural para que pudiéramos ver cómo se alejaba a toda velocidad. La desvolatilización significa que un objeto —un pedazo de carbón, por ejemplo— se somete a condiciones, como puede ser la alta temperatura, durante las cuales se extrae un elemento. Un ejemplo de desvolatilización que nos suena a todos es el calentamiento de un pedazo de carbón hasta que se convierte en una escoria.

Esta hipótesis sostiene que un cometa no compuesto de carbono se desvolatilizó y se convirtió en una amalgama altamente porosa de forma extraña que fue capaz de desviarse en un grado estadísticamente significativo, como vimos que se desvió Oumuamua. Y todavía necesita un paso más. Esta nube de polvo más o menos ensamblada se desvió, sin que pudiéramos detectar ninguna desgasificación ni ningún resto de los «efectos de la presión de la radiación solar».

Pocos meses más tarde, una investigadora del Space Telescope Science Institute sugirió un concepto similar[8]relativo a un conglomerado congelado poroso. Una década antes, esta misma científica y yo habíamos colaborado para predecir por primera vez la afluencia de objetos interestelares a partir de los datos de nuestro sistema solar. (Esta predicción resultó ser mucho menor de la necesaria para explicar a Oumuamua, otra anomalía sobreentendida.) Ahora, mi colega de profesión pretendía explicar el movimiento anómalo del objeto. Para que la luz solar diera el impulso necesario, calculó que la densidad media de un Oumuamua poroso tenía que ser extraordinariamente baja, cientos de veces más enrarecida que el aire.

Imaginaos una tortita o un puro alargado del tamaño de un campo de fútbol, lo bastante sólido para rotar cada ocho horas, pero tan esponjoso que es cientos de veces más ligero que una nube. Esta hipótesis es muy poco plausible, siendo generosos, sobre todo porque solo podemos basarla en la imaginación y porque nunca hemos observado nada parecido. Por supuesto, lo mismo

puede decirse de un objeto de origen natural con forma de puro o de tortita. Nunca hemos visto objetos, esponjosos o no esponjosos, con una forma tan alargada como la de Oumuamua.

Dejemos un momento de lado la composición del objeto y observemos con más detenimiento su forma. Desayunando, nadie confundiría jamás un puro con una tortita. Son radicalmente diferentes. Así pues, ¿de verdad podemos elegir entre estas dos formas extravagantes cuando nos imaginamos a Oumuamua rotando por el espacio?

Otro científico, un astrofísico de la Universidad McMaster, volvió a estudiar los datos para intentar dar con una respuesta.[9]Valoró todos los modelos de brillo que concordaban con los datos y llegó a la conclusión de que las posibilidades de que Oumuamua tuviera forma de puro eran escasas, mientras que las posibilidades de que tuviera la forma de un disco eran de cerca del 91 %. Deberíais tener este porcentaje en cuenta cuando veáis la enésima representación artística de Oumuamua como una roca en forma de puro. También deberíais tener esto en consideración cuando os topéis con cualquier explicación para un objeto oblongo de origen natural, como es el proceso poco probable de fusión y estiramiento a lo largo de una trayectoria rara que pase muy cerca de una estrella, cuyo valor es discutible en el caso de Oumuamua, dado este análisis.[10]

¿Hay alguna forma más simple de lograr la relación de superficie-volumen necesaria para un objeto con forma de tortita? Sí, la hay. Se puede fabricar un equipo delgado y sólido que se pueda desviar por el efecto de la presión de radiación solar exactamente con esas especificaciones.

4

StarChips

Años antes de que se descubriera a Oumuamua, me sentí atraído por la búsqueda de civilizaciones extraterrestres y por la posibilidad de que la Tierra no fuera el único planeta que albergara vida. Es un interés que emana de la ciencia y de la evidencia, más que de la ciencia ficción. Me encantan la ficción y la ciencia, pero, como ya he confesado, me preocupa que las historias que rompen las leyes de la física y alimentan una fascinación por lo «improbable» entorpezcan no solo el avance de la ciencia, sino nuestro propio progreso.

A ver, ¿quién necesita sucesos improbables cuando disponemos de una probabilidad tan sólida? La existencia de vida inteligente en la Tierra es una razón más que suficiente para abordar la búsqueda de vida en otros rincones del universo desde un prisma científico más que ficticio.

Esta ha sido mi opinión desde que di mis primeros pasos en la astrofísica. Pero este curioso interés personal no se hizo público hasta 2007, cuando el cosmólogo Matías Zaldarriaga y yo propusimos buscar señales de radio extraterrestres.

Fue una especie de comienzo… y resultó transformador.

. . .

Mi singular proyecto de sondeo con Matías derivó de mi labor con el universo incipiente, el amanecer cósmico que me había cautivado en 1993, cuando di el salto del IAS de Princeton a Harvard. Una duda que me carcomía entonces era cuándo se

habían «encendido» por primera vez las estrellas; es decir, cuál fue el momento en que las leyes de la naturaleza profirieron el «Hágase la luz». El estudio del nacimiento de las estrellas me llevaría, años más tarde, a ponderar cómo las civilizaciones se podrían escuchar unas a otras. Pero por aquel entonces era simplemente una pregunta que no podía responder de ningún modo.

En resumen, para retrotraerte en el tiempo y observar los primeros siglos del universo, hay que escuchar las débiles emisiones de radio del hidrógeno primitivo, el elemento más abundante del universo. La mejor forma de hacerlo es usar telescopios que puedan buscar la firma de ese hidrógeno primitivo, una longitud de onda intrínseca de veintiún centímetros que se alarga (se desplaza hacia longitudes de onda más rojas, o largas, en lo que se conoce como «corrimiento al rojo») hasta una escala de metros a medida que el universo se expande desde el amanecer cósmico.

A mediados de la década del 2000, esta área de investigación experimental teóricamente posible se estaba convirtiendo en una realidad. Al fin se estaban construyendo radiotelescopios de longitud de onda larga; uno de ellos, el Murchison Widefield Array (MWA) del desierto de Australia occidental, fue un proyecto internacional en el que participaron científicos e instituciones de Australia, Nueva Zelanda, Japón, China, India, Canadá y los Estados Unidos.

Como sucede con muchos de los observatorios del mundo, la remota ubicación de esta red kilométrica de antenas se escogió por la baja contaminación; en este caso, no por la ausencia de contaminación lumínica, sino por la ausencia de ondas de radio emitidas por los humanos. Nuestros televisores, móviles, ordenadores y radios emiten radiación en las mismas frecuencias a las que estaba sintonizando el telescopio MWA mientras intentaba detectar radioemisiones del hidrógeno primordial del universo primitivo, otro ejemplo más de cómo los avances tecnológicos pueden poner trabas a los astrónomos, más que ayudarlos.

Un día, almorzando con Matías y otros, se me ocurrió una cosa. Toda esa contaminación de ondas de radio me hizo pensar

que, si nuestra civilización emitía tanto ruido a esa frecuencia, quizás hubiera otras que lo hicieran: civilizaciones extraterrestres y alienígenas que habitaran las mismas estrellas que Matías y yo estábamos estudiando.

Fue una corazonada espontánea y, al principio, Matías se la tomó a risa. Pero ambos valoramos más seriamente la idea cuando me enteré del llamamiento inaugural del Foundational Questions Institute (FQXi) a realizar proyectos revolucionarios. Sin la losa de haber trabajado antes en ámbitos relacionados y basándonos en nuestra reputación como científicos respetables, le sugerí a Matías que convirtiéramos esta enigmática anécdota en un proyecto de investigación original. El proyecto consiguió mayor credibilidad y financiación precisamente porque no éramos cosmólogos asociados al Instituto SETI, dedicado a buscar vida inteligente extraterrestre, una institución que siempre se ha apartado del círculo de organizaciones científicas más populares y que cuenta con detectores y análisis de radio menos avanzados.

. . .

Hace tiempo que sé que, en la disciplina de la astronomía, la búsqueda de inteligencia extraterrestre es recibida con hostilidad. Y llevo mucho tiempo considerando extraña esta hostilidad. Actualmente, la mayoría de los físicos teóricos aprueban el estudio de dimensiones espaciales extra, más allá de las tres que todos conocemos —llanamente, altura, anchura y profundidad— y de la cuarta: el tiempo. Y eso que no hay indicios de que existan más dimensiones. De igual modo, un hipotético multiverso —con un número infinito de universos existiendo simultáneamente y en los que todo lo que puede llegar a suceder, sucede— copa el pensamiento de las mentes más reputadas de nuestro planeta, también a pesar de que no hay pruebas de que algo así sea posible.

Yo no tengo nada en contra de estas iniciativas; de verdad, que las teorías se multipliquen (y, tal vez, produzcan experimentos replicables que aporten más pruebas). Lo cierto es que me lo tomo con los recelos con que a menudo se encuentra la búsqueda de

inteligencia extraterrestre. En comparación con algunos devaneos de la física teórica, buscar en el universo algo que se sabe que existe en la Tierra, el fenómeno de la vida, es una línea de investigación conservadora. La Vía Láctea alberga decenas de miles de millones de planetas del tamaño de la Tierra y con temperaturas de superficie parecidas a las nuestras. En total, hay 200.000 millones de estrellas en nuestra galaxia y en una cuarta parte de ellas orbitan planetas que son más o menos habitables como la Tierra, es decir, con unas condiciones en la superficie que permiten la existencia de agua líquida y la química de la vida como la conocemos. Con tantos mundos —¡50.000 millones solo en nuestra galaxia!— con condiciones similares propicias para la vida, es muy probable que en otras partes hayan evolucionado organismos inteligentes.

Y eso solo contando los planetas habitables dentro de la Vía Láctea. Sumando todas las demás galaxias en el volumen observable del universo, la cifra de planetas habitables aumenta hasta 10^{21}, un valor mayor que el número de granos de arena que hay en todas las playas de la Tierra.

Parte de la reticencia a buscar vida extraterrestre inteligente se remonta al mero conservadurismo, que muchos científicos adoptan para minimizar la cantidad de errores que cometen durante su carrera. Este es el camino más fácil y da sus frutos; los científicos que procuran dar esta imagen reciben más reconocimientos, más premios y más financiación. Por desgracia, esto también dispara su efecto eco, dado que la financiación desemboca en grupos de investigación cada vez mayores que repiten como un mantra las mismas ideas. Y puede acabar generándose un efecto dominó; las cámaras de eco amplifican la mentalidad conservadora y succionan toda la curiosidad de los jóvenes investigadores, muchos de los cuales tienen la sensación de tener que pasar por el aro para conseguir un trabajo. Si no se tira de las riendas, esta tendencia podría convertir el consenso científico en una especie de profecía autocumplida.

Si ponemos bridas a las interpretaciones o vendamos a nuestros telescopios, corremos el riesgo de perdernos

descubrimientos. Acordaos de los eclesiásticos que se negaron a mirar por el telescopio de Galileo. Los prejuicios o la estrechez de miras de la comunidad científica —como queráis describirlo— son especialmente omnipresentes y poderosos cuando se trata de buscar vida alienígena, en especial, vida inteligente. Muchos investigadores se niegan incluso a considerar la posibilidad de que un objeto o un fenómeno extraño puedan probar la existencia de una civilización avanzada.

Algunos de estos científicos manifiestan que simplemente no van a honrar esta especulación con su atención. Pero, como he señalado, hay otras formas de especulación incrustadas en el dogma científico aceptado: la existencia de múltiples universos, por ejemplo, y las dimensiones extra predichas por la teoría de cuerdas, y eso que no hay ningún indicio observable para ninguna de estas ideas (y puede que nunca lo haya).

Más adelante volveré al tema de la búsqueda de inteligencia extraterrestre y a la resistencia que encuentra en la comunidad académica, pues es un tema que cobra aún más importancia cuando entiendes toda la dimensión de sus implicaciones. Por ahora, baste decir que, en comparación con muchas ideas científicas convencionales, la búsqueda de vida alienígena —incluso de tipo inteligente— no es un proyecto tan especulativo. Al fin y al cabo, en la Tierra surgió una civilización tecnológica y sabemos que hay un rimero de planetas iguales que el nuestro ahí fuera.

. . .

Cuando Matías y yo propusimos buscar señales de civilizaciones alienígenas, no fue tanto porque esperáramos oír inmediatamente las comunicaciones de esas civilizaciones, sino porque creíamos que ayudaría a encauzar la atención y los esfuerzos para responder a otra pregunta: ¿estamos solos?

En los años que siguieron a mi colaboración con Matías, me fui sintiendo cada vez más atraído hacia las cuestiones relacionadas con la búsqueda de inteligencia extraterrestre. ¿Cuál

sería un método científico para responder a esta pregunta guía? Y como se sumaba a una serie de temas que despertaban mi curiosidad —la naturaleza de los agujeros negros, los inicios del universo, la posibilidad de viajar a velocidades próximas a la luz—, acabé en compañía de cualquier experto cuyos intereses se solaparan con los míos, incluidos algunos científicos que se identificaban exclusivamente con la búsqueda de vida alienígena.

Por otra parte, Ed Turner, un astrofísico de la Universidad de Princeton, y yo fuimos los primeros en considerar cómo habría que proceder para buscar indicios de luz artificial. Se nos ocurrió la idea de buscar el resplandor de una nave espacial o de una ciudad a grandes distancias usando nuestros telescopios modernos. Alentados por Freeman Dyson, modificamos la pregunta y empezamos a considerar si podríamos ver una ciudad del tamaño y brillo de Tokio en Plutón, que en ese momento era el planeta más lejano de nuestro sistema solar. (Luego se reclasificó como planeta enano.) Nuestra propuesta era más teórica que práctica; nunca habíamos considerado seriamente apuntar nuestros telescopios hacia la bola de hielo que es Plutón en busca de una ciudad. En verdad, concebimos nuestro ejercicio mental con vistas a descubrir lo que nosotros (o cualquier civilización, ya puestos) tendríamos que hacer para escudriñar las centelleantes estrellas en busca de la clara señal de luz de una ciudad.

Al parecer, si usabas un instrumento de la sofisticación tecnológica del Telescopio Espacial Hubble para buscar el rastro de luz artificial durante tiempo suficiente, podías acabar avistando Tokio desde los bordes del sistema solar. Y podías saber si la luz era propia, no luz solar reflejada, dependiendo de cómo se oscurecía la fuente a medida que se alejaba del Sol.

En 2014, mi reputación por tomarme en serio la cuestión de si estamos solos en el universo había crecido hasta tal punto que un redactor de *Sports Illustrated* contactó conmigo para comentar una idea rocambolesca planteada por el presidente de la FIFA: la posibilidad de celebrar un mundial interplanetario. Por más sarcástico que fuera el comentario original, la revista quería que alguien valorara la viabilidad de esa idea. Así que me aventuré a

presentar al redactor los distintos obstáculos, desde la tecnología necesaria para transportar a los equipos a los campos de juego hasta la necesidad de acordar las condiciones atmosféricas para jugar, y todo después de señalar lo obvio: primero tendríamos que encontrar vida inteligente con la que competir.

Estábamos más cerca de lo que imaginaba de ese objetivo, dado que también fue por aquella época cuando Yuri Milner vino a verme con un propósito mucho más serio.

. . .

Yuri Milner es un multimillonario y emprendedor de Silicon Valley que irradia determinación. Nació en la Unión Soviética, estudió física teórica en la Universidad Estatal de Moscú, se sacó un máster en la Wharton School de la Universidad de Pensilvania y se convirtió en un inversor de primera línea. Entre las empresas con las que ha cooperado están Facebook, Twitter, WhatsApp, Airbnb y Alibaba.

En mayo de 2015, Yuri y Pete Worden, exdirector del Ames Research Center de la NASA, se presentaron en mi despacho del Centro de Astrofísica Harvard-Smithsonian para animarme a participar en un nuevo programa que estaban poniendo en marcha, un proyecto que acabarían bautizando como Iniciativa Starshot. Querían financiar un equipo que diseñara y lanzara una nave espacial capaz de llegar al sistema estelar más cercano: Alfa Centauri, un grupo de tres estrellas que orbitan entre sí a unos 4,27 años luz de la Tierra.

No era de extrañar que Yuri promoviera una iniciativa así. En 2012 él y su esposa, Julia, habían creado el Premio Breakthrough. Cada año se concedía el dinero del premio a especialistas de todo el mundo de tres ámbitos: la física fundamental, la biociencia y las matemáticas; cada premio estaba dotado con tres millones de dólares. En un año, Yuri y Julia sumaron al equipo de financiación de estos premios a celebridades como Mark Zuckerberg, cofundador de Facebook, Sergey Brin, cofundador de Google, y Anne Wojcicki, cofundadora de 23andMe.

En 2015 Yuri estaba dando vueltas a otros medios más directos y ambiciosos de promover los proyectos científicos que le motivaban, así que creó las Iniciativas Breakthrough. El objetivo era inconfundible. El proyecto pretendía encontrar respuestas a dos de las preguntas más básicas a las que se enfrenta la humanidad: ¿estamos solos?, y, pensando y cooperando entre nosotros, ¿podemos dar el gran salto a las estrellas?

Yuri llevaba fascinado con estas cuestiones desde una edad bastante temprana, desde que leyó *Universo, vida, intelecto,* publicado en 1962 por el astrónomo soviético Iósif Shklovski. (Más tarde, Shklovski publicó en inglés *Vida inteligente en el universo,* coescrito con el astrónomo norteamericano Carl Sagan.) Tal vez contribuyó a ello el hecho de que los padres de Yuri le pusieran el nombre del ilustre cosmonauta soviético Yuri Gagarin, quien en 1961 —el año en que nació el pequeño Yuri— se convirtió en el primer humano en ser lanzado al espacio.



Representación artística de Próxima b, el planeta habitable más cercano fuera de nuestro sistema solar. Este planeta, descubierto en agosto de 2016, tiene una masa aproximada de una o dos tierras y orbita en torno a Próxima Centauri, una estrella enana con un 12 % de la masa solar. Próxima b está a una distancia de 4,24 años luz de la Tierra y su superficie tiene una temperatura comparable a la de la Tierra. No obstante, dada la proximidad a

su tenue estrella madre, se cree que el planeta está anclado por marea, con un costado en el que siempre es de día y otro en el que siempre es de noche. ESO

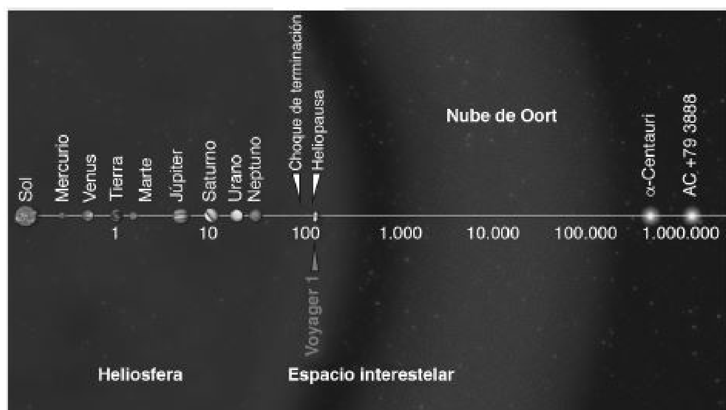
En realidad, yo estaba decidido a ofrecer mi ayuda a Yuri antes incluso de que acabara de perfilar su petición. Su interés atrevido y sincero por explorar si había vida más allá de la Tierra concordaba plenamente con mi forma de ver las cosas. Sin embargo, sus expectativas me abrumaron. Yuri dijo que quería que yo abanderara un proyecto para enviar una sonda al sistema ternario Alfa Centauri para dilucidar si había vida. La pega estaba en que había de hacerse en vida de Yuri. Le pedí seis meses para elaborar un plan tecnológico apropiado.

De la mano de mis alumnos y posdoctorados, estudié seriamente las opciones para cumplir el requisito de la Iniciativa Starshot. Un destino atractivo dentro del sistema Alfa Centauri era Próxima Centauri, la estrella más cercana al Sol. Felizmente para nosotros, unos pocos meses después de anunciarse Starshot, se descubrió que esta estrella enana albergaba un planeta, Próxima b, en su zona habitable.

Un cohete de propulsión química, que es el que ha mandado al espacio todas nuestras naves, tardaría aproximadamente cien mil años en llegar a Próxima b. Yuri tenía cincuenta y seis años, o sea, que con el plazo que estipuló —los años que le quedaban de vida —, el cohete de propulsión estaba descartado.

Para llegar a Próxima b en unas cuantas décadas, necesitábamos una nave espacial capaz de viajar a una quinta parte de la velocidad de la luz. Aunque usáramos combustible nuclear, que es el que tiene una mayor densidad de energía (aparte de la antimateria, que no está disponible), sería imposible que un cohete de propulsión llegara a esas velocidades. Y la segunda ley del movimiento de Newton —según la cual la aceleración de un objeto depende de su masa y de la fuerza que actúa sobre él— también exigía que nuestra nave pesara lo menos posible.

Para que un objeto acelerara a la velocidad deseada, haría falta una cantidad tremenda de energía; cuanto más ligero fuera el objeto, menos energía haría falta. Por consiguiente, la carga útil de la nave no podría exceder de unos pocos gramos. Esto planteaba otro reto. Nuestra nave no solo tenía que recorrer la exorbitante distancia en mucho menos de cien mil años, sino que, al llegar a Próxima Centauri, tenía que ser capaz de sacar fotos y enviarlas a la Tierra para que nosotros pudiéramos recibirlas. Tenía que ser ligera, pequeña y barata de fabricar. Esto dictaminaba que la cámara y el transmisor serían parecidos a los de los móviles de hoy. Según nuestros cálculos, esa tecnología, con algunas modificaciones, bastaría.



Con un cohete convencional de propulsión química, el viaje al sistema estelar más cercano, Alfa Centauri, ubicado a unos cuatro años luz, duraría cientos de miles de años (si hubiera empezado cuando los primeros humanos salieron de África, estaría culminando ahora). El borde del sistema solar está definido por la nube de Oort, que se extiende a medio camino de Alfa Centauri. Las distancias se expresan en unidades astronómicas (la separación entre la Tierra y el Sol). En 2012 el Voyager 1 cruzó la heliopausa, que es donde el viento solar colisiona con el gas interestelar. Mapping Specialists, Ltd. Adaptación de NASA/JPL-Caltech

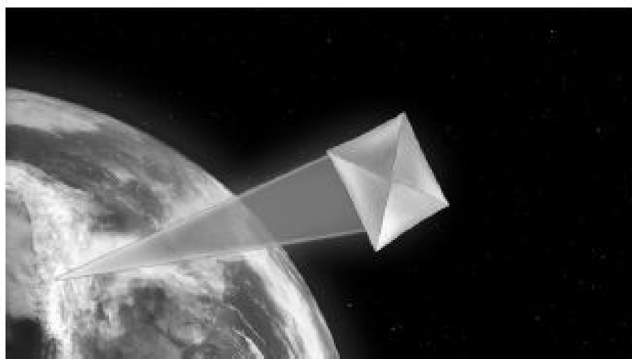
Desechamos ideas y pulimos las que quedaban hasta que convenimos en un plan para lanzar una nave espacial ligera sujeta a una vela reflectante; básicamente, un espejo. La idea de una vela solar —un objeto propulsado por medio de la luz solar ejercida sobre él— se remonta a hace siglos. En 1610 Johannes Kepler ya escribió a Galileo hablándole de «navíos o velas adaptados a las brisas celestes». Con todo, fabricar un objeto como este no devino ni remotamente factible hasta los años setenta del siglo pasado. En primer lugar, la luz absorbida se convierte en calor, como bien sabe cualquier perro o gato que encuentra un lugar clareado donde echar una siesta. Así que nuestro espejo no podía ser un espejo cualquiera; tenía que absorber menos de una cienmilésima parte de la luz que le llegaba para no quemarse. Y teníamos que apuntar a esa vela solar con un láser extremadamente potente y preciso.

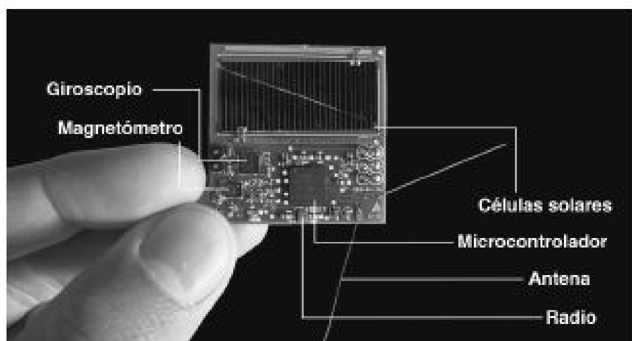
Esta tampoco era una idea del todo nueva. El concepto de la vela propulsada con láser se inventó el año en que nací (1962) y es mérito del visionario Robert Forward, aunque fue desarrollada posteriormente por otros científicos, como Phil Lubin, para incluir componentes electrónicos en miniatura y diseños ópticos modernos. Con todo, nunca había estado tan cerca de hacerse realidad.

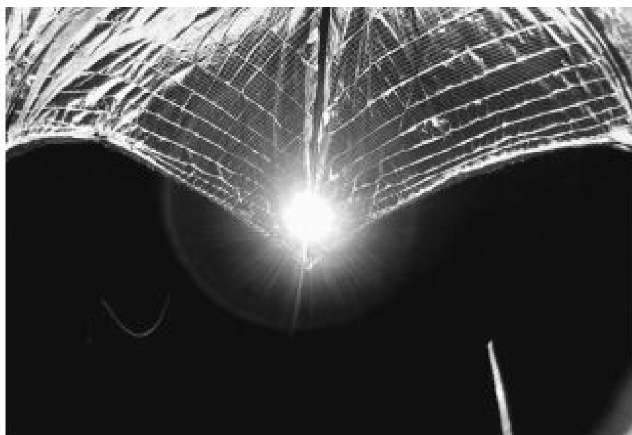
Según nuestros cálculos, un rayo láser de cien gigavatios capaz de acertar a una placa del tamaño aproximado de una persona durante unos minutos propulsaría la vela, junto con la cámara y el dispositivo de comunicación incorporado, a una quinta parte de la velocidad de la luz cuando la nave estuviera a una distancia cinco veces mayor que la que nos separa de la Luna. Esta sería la pista para el despegue de la nave, por llamarla de algún modo. A lo largo de esta distancia, el rayo láser iría impeliendo la nave hasta alcanzar una velocidad suficiente para llegar a la estrella más cercana durante el tiempo que durará nuestra vida.

Todo lo que proponíamos implicaba usar tecnología conocida. ¿Difícil? Sí. ¿Caro? Relativamente; estaba al nivel de algunos de los mayores proyectos científicos, como el Gran Colisionador de Hadrones del CERN o el Telescopio Espacial James Webb, pero era más barato que la misión lunar del Apolo. (Muchas personas que

oyeron hablar de la Iniciativa Starshot confesaron que no habían sentido tanta pasión por la exploración espacial desde la misión del Apolo, hacía cincuenta años.) Pero también sería eficiente. Una vez construido, el sistema de lanzamiento podría usarse para enviar muchas naves del mismo estilo, que quizás sería mejor ver como sondas, aunque nos acostumbramos a llamarlas StarChips.







Arriba: Representación artística del Starshot, un proyecto para impulsar una vela solar desde la Tierra con un potente rayo láser. En medio: Un ejemplo del dispositivo electrónico ligero (StarChip) que se podría anclar a la vela junto con una cámara.

Abajo: Fotografía de la vela LightSail 2, lanzada por Planetary Society el 23 de julio de 2019, en la que se puede ver el Sol a través de una vela de treinta y dos metros cuadrados. Breakthrough Starshot/ A. Loeb (primera y segunda imagen) y Planetary Society (tercera imagen)

Cuando llevaba unos meses trabajando en esto, en agosto de 2015, escribí un artículo junto con James Guillochon, posdoctorado mío, sobre las velas solares. En el texto reflexionamos sobre una cosa: si los humanos habían descubierto esta tecnología, otros seres inteligentes también podrían haberlo hecho. Basándonos en esta hipótesis, argüimos que los científicos deberían buscar los tipos de rayos de microondas que podría usar una especie extraterrestre para enviar naves propias a las estrellas.

En octubre de 2015, cuando se publicó nuestro artículo en la *Astrophysical Journal,* todavía no se había anunciado formalmente la Iniciativa Starshot, y James y yo solo habíamos abordado una consecuencia del análisis de mi equipo sobre las posibles soluciones al desafío Starshot. No obstante, fue gratificante que nos publicaran un artículo fruto de nuestras primeras valoraciones de la propuesta de Yuri.

La publicación del artículo también acarreó una consecuencia imprevista; los medios nos prestaron atención. El interés mediático no había sido un propósito de mi investigación, que seguía los mismos principios que habían guiado mis hipótesis previas sobre la naturaleza de la materia oscura, las primeras estrellas y los agujeros negros. Echando la vista atrás, me doy cuenta de que esta atención mediática inesperada fue heraldo de lo que estaba por venir.

. . .

De vuelta a Harvard, seguimos el proyecto y, seis meses después de conocer a Yuri Milner y Pete Worden, recibí la esperada llamada de Pete. Yuri y él querían que les informara de los avances

del equipo y querían que lo hiciera en el domicilio de Milner en California. Solicitaban una reunión para dos semanas más tarde. Ya había sido atrevido pidiendo solo seis meses para diseñar un plan plausible para llegar a la estrella más cercana en aproximadamente veinte años. Ahora lo tenía que recopilar todo para convencer a un pequeño jurado para que lo financiara. Y el panel estaría completado por Stephen Hawking, por aquel entonces el astrofísico teórico más prestigioso. Pero no sería el único genio de la ciencia que iba a juzgar mi propuesta. Freeman Dyson me escribía periódicamente para saber cómo iba mi investigación y también había empezado a mostrar interés en la Iniciativa Starshot.

Cuando Pete se puso en contacto conmigo, yo estaba de vacaciones. De hecho, estaba a punto de salir de mi habitación de hotel para visitar una tranquila y apartada granja de cabras en la región Néguev, al sur de Israel, donde mi esposa quería pasar el fin de semana. Así que a la mañana siguiente me puse a preparar una presentación sentado al aire libre, con la espalda reclinada en la pared de la oficina de la granja, el único sitio con conexión a internet.

Para mí era ideal. Hacía un tiempo fresco y seco. De vez en cuando paseaba mi mirada por los cabritos nacidos el día anterior. Todo era muy familiar y me recordaba a la granja en la que había crecido con mis dos hermanas, Reli y Shoshi. Entre mis quehaceres, había tenido que recoger huevos y ayudar a acorralar los polluelos recién nacidos que se escapaban de la jaula. En este ambiente familiar, esbocé mis planes para la primera sonda interestelar de la humanidad con la tecnología de la vela solar.

Dos semanas más tarde fui a la casa de Milner en Palo Alto y anuncié que tenía un plan que satisfacía sus exigencias. En el tiempo que nos quedaba de vida, era tecnológicamente viable enviar una nave a Próxima Centauri.

Yuri estaba satisfecho y entusiasmado, igual que Pete. Tras unos meses de largos debates, el 12 de abril de 2016 decidieron anunciar públicamente la Iniciativa Starshot desde el observatorio que había en la cúspide del One World Trade Center de Nueva York. Era la Noche de Yuri, en conmemoración del lanzamiento del

primer ser humano al espacio, Yuri Gagarin, el 12 de abril de 1961. Compartí el escenario con Yuri Milner, además de Freeman Dyson y Stephen Hawking. La histórica visión que presentamos fue filmada por equipos de televisión y fue transmitida por todo el mundo. A la mañana siguiente, mi esposa llevó el coche al taller a cambiarle el aceite y el mecánico, acostumbrado a que lo llevara yo, le preguntó dónde estaba. Ofrit dijo que yo no podía ir por el anuncio y él contestó: «Este proyecto es una pasada; he leído todas las noticias sobre el tema». La visión de visitar otra estrella durante nuestra vida atrajo la imaginación del público de un modo que recordaba el alunizaje del Apolo 11.

Solo diecisiete meses después de esa presentación, los telescopios del Pan-STARRS descubrieron a Oumuamua.

. . .

Detengámonos un momento para resumir los indicios sobre Oumuamua que florecieron durante las semanas inmediatamente posteriores a su descubrimiento. Era un objeto pequeño, brillante y de forma extraña que se desvió de la órbita marcada por la gravedad del Sol sin que pudiéramos ver ninguna cabellera cometaria (debida a la desgasificación del hielo del cometa, que se convierte en vapor a partir de la fricción y el calor del Sol), y eso que se realizó una búsqueda minuciosa con el Telescopio Espacial Spitzer y otros detectores.

Estos son hechos corroborados y nos permiten afirmar sin ambages que las tres primeras anomalías identificadas de Oumuamua —su peculiar órbita sin coma, su forma alargada y su luminosidad— lo diferencian estadísticamente de todos los demás objetos catalogados por la humanidad por un amplio margen. Para ilustrar esta singularidad en términos estadísticos, siendo conservadores podemos sostener que, basándonos en su aceleración extra y la ausencia de cabellera cometaria, Oumuamua es un objeto que solo aparece una de cada pocos cientos de veces. Por su forma, también es un objeto que, siendo modestos, aparece una de cada pocos cientos de veces. Y a juzgar por su reflectancia,

podemos decir (también siendo conservadores) que es un objeto que solo aparece una de cada diez veces. Cuando multiplicamos esas tres cualidades anómalas, podemos apreciar lo atípico que es Oumuamua. Es un objeto entre un millón.

Esos tres rasgos —órbita, forma y reflectancia— no son los únicos que hacen de Oumuamua un objeto raro, como ya sabemos. Sin embargo, juntas, estas tres características ponen claramente en duda la expectativa comprensible, si bien ingenua, de que nuestro primer visitante interestelar se pareciera a los asteroides rocosos y a los cometas congelados que, como sabemos, han pasado por nuestro sistema solar.

Y pese a la acumulación de estas anomalías, la mayoría de los científicos se aferraron a la explicación más cómoda: Oumuamua tenía que ser un objeto de origen natural, un asteroide o un cometa. La mayoría, sí, pero no todos. Incluso nuestra comunidad, como veis, tiene sus anomalías.

Todavía tenía fresca mi labor con la Iniciativa Starshot y, en oposición a los demás, yo me sentía atraído por otro tipo de hipótesis.

5

La hipótesis de la vela solar

A principios de septiembre de 2018, más o menos un año después de que Oumuamua pasara por encima de nosotros, escribí un ensayo para *Scientific American* sobre las posibles implicaciones de buscar vestigios de civilizaciones alienígenas (en especial, de civilizaciones extintas). Basándome en los datos del satélite Kepler, argumenté que sabíamos que aproximadamente una de cada cuatro estrellas albergaba planetas habitables de escala terrestre. Aunque solo una triste fracción de esas tierras habitables hubiera dado pie a civilizaciones tecnológicas como la nuestra durante la vida de sus estrellas, en la Vía Láctea podría haber un sinfín de restos por explorar.

Según mi teoría, algunos de estos mundos habitables podían contener indicios de civilizaciones anteriores, desde rastros atmosféricos o geológicos hasta megaestructuras abandonadas. Pero lo que resultaba todavía más fascinante era la posibilidad de encontrar residuos tecnológicos sin funcionalidad aparente volando por nuestro sistema solar, como podían ser piezas de equipamiento que se habían quedado sin energía tras viajar millones de años y que se habían convertido en chatarra espacial.

Afirmé que era perfectamente posible que ya hubiéramos encontrado este resto de tecnología. Mencionando el descubrimiento de Oumuamua el otoño anterior, resumí los indicios anómalos que habíamos recopilado sobre él y me hice una pregunta retórica: atendiendo a su desviación de la órbita prevista y sus otras peculiaridades, «¿podría Oumuamua haber sido un motor artificial?».

Al igual que la búsqueda de señales de civilizaciones alienígenas, fue solo una idea pasajera. Y tal vez la habría dejado de lado si me hubiera podido sacar de la cabeza el StarChip.

. . .

Por esa época llegó al Instituto de Teoría y Computación de Harvard, del que soy director, un nuevo compañero de posdoctorado, Shmuel Bialy, y le propuse colaborar en un artículo que explicara el exceso de aceleración de Oumuamua a raíz de la radiación de la luz solar. Debido a mi labor previa con las velas solares durante la concepción de la Iniciativa Starshot, sabía de las limitaciones y posibilidades científicas que planteaban los viajes interestelares con esa tecnología. Tenía las fórmulas necesarias vivas en el recuerdo y podía aplicarlas para, quizás, explicar la fuerza peculiar ejercida por la luz solar sobre Oumuamua. Para que quede claro, mi actitud en ese momento era simplemente la de pensar que quizás funcionaría. El mundo astronómico había hecho un descubrimiento emocionante, un objeto interestelar, sobre el cual habíamos recabado un precioso y confuso amasijo de información. Teníamos ante nosotros datos difíciles de congeniar con una hipótesis integral. Cuando le propuse a Bialy que explicáramos la desviación de Oumuamua echando mano de la luz solar, estaba siguiendo los mismos principios científicos que siempre había seguido: debíamos sopesar cualquier hipótesis que integrara todos los datos.

Bialy repasó las cifras y su entusiasmo fue en aumento; la idea que había propuesto parecía viable. Esto condujo a una nueva pregunta: ¿qué suposiciones deberíamos hacer respecto al tamaño y la composición de Oumuamua para explicar su desviación? El quid estribaba en lo delgado que tenía que ser el objeto para poseer esa alargada relación entre área y volumen que explicara su exceso de aceleración. Resolvimos que Oumuamua tenía que tener una anchura inferior a un milímetro para que la fuerza de la luz solar fuese efectiva



Representación artística de Oumuamua como una vela solar (izquierda),
al lado de una ilustración convencional del objeto como una roca alargada
en forma de puro (derecha). Mark Garlick para *Tähdet ja avaruus*/Science Photo Library

La implicación era obvia: la naturaleza no había demostrado ser capaz de producir nada con el tamaño y la composición que sugerían nuestras suposiciones, así que algo o alguien tuvo que haber fabricado esa vela solar. Oumuamua tuvo que haber sido diseñado, construido y lanzado por un ser extraterrestre inteligente.

Es una hipótesis extravagante, de eso no cabe duda. Pero no lo es más que otras hipótesis que se han propuesto para explicar las atípicas características de Oumuamua. Que sepamos, la naturaleza no es propensa a producir cometas de hidrógeno puro, ni nubes esponjosas de materiales más enrarecidos que el aire y, al mismo tiempo, estructuralmente cohesionados. La esencia extraordinaria de nuestra conclusión se debía casi en su totalidad a que no era un objeto de origen natural.

Atribuir al objeto una forma de vela solar puede parecer algo estrafalario, pero no hay que hacer ninguna suposición osada.

Shmuel y yo seguimos un camino lógico. Seguimos los indicios y, en la gran tradición dictada por la labor detectivesca de la ciencia, nos atuvimos fielmente a la máxima de Sherlock Holmes: «Cuando se ha descartado lo imposible, lo que queda, por improbable que parezca, ha de ser la verdad». De ahí nuestra hipótesis: Oumuamua era artificial.

Expusimos estas ideas en un artículo titulado «Could Solar Radiation Pressure Explain 'Oumuamua's Peculiar Acceleration?» [¿La presión de la radiación solar podría explicar la peculiar aceleración de Oumuamua?]. En él nos planteamos una serie de cuestiones más sobre Oumuamua. Describimos los daños que probablemente sufriría al surcar el universo, desde impactar contra polvo espacial a sufrir la tensión continua de la fuerza centrífuga causada por su rotación. Hablamos del efecto que podrían tener esos daños sobre la masa y la velocidad del objeto y descubrimos que sería mínimo. Hilvanando ecuaciones, extrajimos conclusiones a partir de los datos disponibles sobre la anchura y la masa del objeto, que dictaminaban su relación entre superficie y volumen. Y luego, al final del escrito, presentamos nuestra hipótesis: «Si la presión de la radiación es la fuerza aceleradora», decíamos, «Oumuamua constituye una nueva clase de material delgado interestelar, generado naturalmente, [...] o bien de origen artificial».

«Respecto al origen artificial», añadíamos, «una posibilidad es que Oumuamua sea una vela solar que flote en el espacio interestelar como residuo de equipamiento tecnológico avanzado».

A finales de octubre de 2018 presentamos el artículo a la prestigiosa revista científica *Astrophysical Journal Letters,* especializada en artículos actuales y rompedores. Nuestra intención era llamar la atención de nuestros colegas científicos, que sabíamos que estaban barajando hipótesis que contravenían los indicios. Esto también se tenía que valorar. Con ese propósito colgamos el manuscrito antes de la revisión por pares en el repositorio de artículos arXiv.org. Los periodistas de temas científicos suelen consultar regularmente arXiv en busca de historias, por lo que enseguida dos de ellos encontraron nuestro estudio y, en un visto y

no visto, informaron de nuestra hipótesis. Sus noticias se hicieron virales y el 6 de noviembre de 2018, cerca de un año después de descubrirse Oumuamua, todo saltó por los aires.

. . .

A la hora de aparecer los primeros reportajes en la prensa, tenía a las cámaras arracimadas en torno a mí. Mientras buena parte de los Estados Unidos acudía en tropel a votar en las reñidísimas elecciones de mitad de mandato, cuatro equipos de televisión se apelotonaron en mi despacho de Garden Street en Cambridge, Massachusetts. Yo trataba de sortear sus preguntas al tiempo que respondía a un aluvión continuo de llamadas y correos de la prensa escrita.

Ya tenía cierta experiencia con la prensa popular gracias a los primeros artículos que había escrito sobre una variedad de temas, pero este grado de atención fue algo nuevo para mí y me agobió un poco. Tampoco ayudó el que me estuviera preparando mentalmente para ir a Berlín a dar una charla que llevaba tiempo preparando para la conferencia *Falling Walls* (traducible como «Derribando muros»), un evento de nombre muy oportuno que se dedica a celebrar los avances que despiertan el interés de la sociedad en los últimos progresos científicos y tecnológicos.

Fui rápidamente a casa a buscar mi maleta, pero antes de llegar al coche me asaltó otro equipo de grabación que había averiguado dónde vivía. De pie ante la puerta de entrada de mi casa, el periodista preguntó:

—¿Cree que hay civilizaciones alienígenas?

—Una de cada cuatro estrellas tiene un planeta con el mismo tamaño y temperatura de superficie que la Tierra —dije a la cámara—. Sería arrogante pensar que estamos solos.

Cuando aterricé en Berlín, los miembros de la prensa internacional estaban respondiendo de forma muy parecida a la de los medios norteamericanos. Y todo ello antes de que se publicara nuestro artículo.

Teniendo en cuenta la atención mediática y nuestra necesidad

de aducir otras pruebas que reforzaran la hipótesis, la *Astrophysical Journal Letters* publicó el artículo el 12 de noviembre. Aceptaron su publicación apenas tres días después de que lo entregara, el menor tiempo de respuesta en toda mi carrera como científico.

Recibí con alegría la publicación del artículo; significaba que el círculo de científicos que barajaba nuestra hipótesis para explicar los datos de Oumuamua iba ensanchándose cada vez más. Pero tampoco me hice ninguna ilusión: sabía que una parte considerable del ámbito académico no recibiría como una hipótesis extravagante más entre tantas la teoría de que Oumuamua provenía de una civilización extraterrestre. Supuse que la mayoría se mostrarían reacios a considerar la idea y que algunos científicos serían incluso hostiles. Estaba muy al corriente de la desconfianza generalizada respecto a cualquier argumento que coincidiera con la opinión de los científicos dedicados a buscar inteligencia extraterrestre.

La efusión de interés popular —que no hizo más que crecer con la publicación de nuestro artículo— también parecía irónica teniendo en cuenta lo relativamente poco atrevida que era la hipótesis. Justo un año antes, tras notificarse una anomalía relacionada con los átomos de hidrógeno (se había descubierto que, en los albores del universo, su temperatura había sido más baja de lo esperado), publiqué un artículo con otro investigador de posdoctorado de Harvard, Julián Muñoz. En el texto demostrábamos que, si la materia oscura estuviera hecha de partículas con una carga eléctrica diminuta, enfriarían el hidrógeno cósmico y explicarían la anomalía anunciada. Aunque esta hipótesis se publicó en *Nature* y era mucho más utópica que la que Bialy y yo habíamos planteado, en referencia a que Oumuamua era tecnología alienígena, recibió mucha menos atención.

Hay una cosa que debo aclarar: aunque me ofrecí a dar entrevistas tan a menudo como me lo permitieron mis compromisos, nunca busqué los focos ni obtuve de ello un deleite particular. En el pasado, cuando había intentado atraer la atención hacia mi trabajo, como hice con la Iniciativa Starshot, me

contentaba incluso con que me respondieran unos pocos miembros de la prensa. Y aunque había recibido minuciosa formación profesional en varios campos a lo largo de mi vida, a nadie, y en especial a mí, se le había ocurrido incluir formación sobre el trato con los medios de comunicación. En retrospectiva, quizás alguien debería haber pensado en ello. La astronomía y la astrofísica son campos que suelen requerir un compromiso firme en términos de tiempo y dinero, y no se puede pensar en el último momento en cómo explotar el conocimiento del público sobre lo que es posible y lo que puede ser necesario.

. . .

Me quedaría corto si dijera que mi tesis de que Oumuamua era artificial encontró rechazo. No cabe duda de que la prensa popular estuvo encantada y el gran público se quedó fascinado. Pero mis colegas científicos fueron más prudentes, por así decirlo.

En julio de 2019 el Equipo Oumuamua del Instituto Internacional de Ciencias Espaciales (ISSI, por sus siglas en inglés) publicó su categórica conclusión en *Nature Astronomy:* «No hallamos pruebas de peso a favor de la explicación alienígena para Oumuamua».[1]Los párrafos inmediatamente precedentes declaraban que la teoría de la tecnología extraterrestre que Bialy y yo habíamos presentado era provocadora, pero carecía de fundamento. Con todo, el artículo también finalizaba con una lista de las anomalías sin responder sobre Oumuamua, lo que los autores definieron como «preguntas abiertas». También admitían que hasta que el telescopio avanzado del Observatorio Vera C. Rubin en Chile no estuviera plenamente operativo, no tendríamos suficientes datos para determinar «lo comunes —o lo raras— que son las propiedades de Oumuamua».

Nunca fue mi intención convertirme en lo que la periodista de ciencia Michelle Starr me llamó: el «*enfant terrible* de la astrofísica de Harvard». Mi actitud hacia las anomalías sigue siendo la misma que el primer día de primaria: escéptica e inquisitiva; me tomo un tiempo prudencial para sopesar cuáles pueden ser los resultados de

seguir un plan de acción en vez de otro. Cuando Starr le pidió a Matthew Knight, astrónomo de la Universidad de Maryland y uno de los científicos del Equipo Oumuamua del ISSI, que sintetizara los hallazgos del equipo, declaró: «Nunca hemos visto nada como Oumuamua en nuestro sistema solar. Realmente sigue siendo un misterio»,[2]y luego añadió: «Sin embargo, preferimos atenernos a los análogos que conocemos».

Tiene sentido. Pero ¿qué pasa cuando entramos en el laberinto por el extremo del misterio, en lugar de elegir el extremo de los análogos conocidos? ¿Qué dudas se plantean y qué nuevas puertas se abren para buscar respuestas cuando barajamos posibilidades que contradicen nuestras suposiciones esenciales, pero concuerdan con los datos que tenemos?

No es una pregunta baladí; los datos de los que disponemos nos obligan a barajar explicaciones excepcionalmente raras. Varios otros astrónomos de ideas más convencionales, que no compartían el mismo pensamiento de grupo mencionado, analizaron los datos de Oumuamua con detenimiento y descubrieron que el comportamiento anómalo del objeto solo se podía explicar proponiendo teorías sumamente estrambóticas. Para explicar todos los hechos conocidos, teníamos que imaginar que Oumuamua era un objeto esponjoso compuesto de material cien veces más enrarecido que el aire, o que era un compuesto formado por hidrógeno sólido congelado.

Los científicos tuvieron que plantear opciones «nunca antes vistas» para explicar las peculiaridades confirmadas de Oumuamua. De los numerosos asteroides y cometas que hemos catalogado, ninguno ha demostrado tener estas peculiaridades. Si estas explicaciones de la ortodoxia científica sobre Oumuamua se consideran lo bastante válidas para merecer un análisis concienzudo, la hipótesis de que era tecnología extraterrestre —otra mera posibilidad «nunca antes vista»— no puede ser menos.

Además, las dudas que suscita la hipótesis de la vela solar son fascinantes. Si suponemos que Oumuamua es un cometa excepcionalmente raro compuesto de hidrógeno puro congelado, la mayoría de nuestras dudas llegan a un callejón sin salida. Lo

mismo puede decirse si lo concebimos como una nube esponjosa de polvo con suficiente integridad interna para mantenerse cohesionada, pero lo bastante ligera como para salir propulsada por la luz solar. En ambos casos, nos podemos maravillar, pero eso es todo. Las rarezas estadísticas tienen que estar en los estantes de una vitrina de curiosidades; no deben dar pie a nuevas ramas de investigación científica. Pero si reconocemos que Oumuamua puede ser tecnología extraterrestre y afrontamos esta hipótesis con curiosidad científica, se abre ante nosotros un abanico de nuevas áreas de exploración para hallar indicios y descubrimientos.

En cuanto los medios superaron la conmoción inicial de ver que el director del Departamento de Astronomía de Harvard y su posdoctorado postulaban que Oumuamua era un vestigio de tecnología extraterrestre, me acusaron de ver velas solares allí donde posaba la mirada. Después de todo, mi colaboración con la Iniciativa Starshot se había anunciado hacía apenas dos años y nuestro objetivo era enviar chips electrónicos a la estrella más cercana aprovechando el potencial de la tecnología de las velas solares.

El entrevistador del semanario alemán *Der Spiegel* lo expresó con admirable franqueza: «Como dice el proverbio, quien tiene un martillo solo ve clavos».

Contesté que sí, como le sucede a todo el mundo, mi imaginación se guiaba por lo conocido; y sí, como le sucede a todo el mundo, mis ideas se inspiraban en aquello en lo que trabajaba. Pero tendría que haber añadido algo: el problema del proverbio es que hacía hincapié en el martillo más que en la persona que lo empuñaba. Los carpinteros más hábiles no ven clavos por todas partes, de eso no hay duda, pero es que, además, están preparados para diferenciar entre los clavos que sí ven.

6

Conchas y boyas

Una de las cosas que más me gusta hacer es pasear por la playa y buscar conchas bonitas que coleccionar. Me doy este gusto cuando estoy de vacaciones, cuando encuentro una bella extensión de arena por la que caminar y estudiar, y cuando tengo el tiempo libre para hacerlo. Muchas veces mis hijas me acompañan a curiosear entre lo que ha llegado a la orilla. A lo largo de los años he amasado una buena colección de bivalvos cuidadosamente pegados, cauris redondeados y rizadas caracolas de tritones y moluscos. Algunas conchas están inmaculadas, pero la gran mayoría están desgastadas y parcialmente desintegradas y sus trocitos forman ahora parte de la arena blanca por la que hemos andado.

A veces, buscando conchas encontramos trozos de vidrio de mar: fragmentos de una botella desechada que, después de ser zarandeada y mecida por el océano, se ha vuelto suave. En estas condiciones, incluso los productos industriales pueden ser bonitos.

En ocasiones, durante nuestras expediciones en busca de conchas encontramos otros objetos manufacturados menos bellos: una botella de plástico o, por ejemplo, una vieja bolsa de la compra. Pero estos descubrimientos son relativamente raros, y es fácil explicar por qué: tratamos de irnos de vacaciones cerca de lugares donde es más complicado encontrar basura.

Si quisiéramos, podríamos viajar en familia a playas donde seguro que encontraríamos residuos. Por desgracia, nuestro planeta tiene cada vez más. Por ejemplo, Kamilo Beach, en Hawái; una antigua perla, ahora es conocida como la «playa del Plástico» por

culpa de la gran cantidad de basura que se acumula en ella. Su condición es deplorable, pero tampoco es que sea de extrañar, dado que el Gran Parche de Basura del Pacífico —según algunas estimaciones, la más grande de las cinco «zonas de acumulación de plástico» que hay en el mundo— se encuentra entre California y Hawái. Y la existencia de estas cinco islas de plástico tampoco es sorprendente, dado que la humanidad arroja al mar unos ocho millones de toneladas de plástico al año.

Cuanto más hay de algo, más probable es que lo encuentres. Esta norma sirve tanto para conchas y botellas de plástico como para las dos posibles explicaciones para Oumuamua que he descrito hasta ahora. O bien es una concha de origen natural, o bien es un trozo de material fabricado, un cacharro inservible o algo por el estilo.

Analizando ambas posibilidades a través de una lupa hecha de cristal marino, vemos por qué es tan importante saber cuál es la correcta, y qué implicaciones acarreará tanto para la ciencia como para nuestra propia civilización.

. . .

Supongamos que, más que una botella de plástico, Oumuamua fuera una concha de mar. De acuerdo, una concha exótica, pero una concha de origen natural al fin y al cabo.

Esta línea argumental ha seducido a la inmensa mayoría de los científicos que han estudiado las anomalías de Oumuamua. No obstante, se derrumba casi de inmediato cuando preguntas cuántas conchas interestelares tiene que haber para que nuestro sistema solar se haya topado con una al azar.

A nadie le choca encontrar una concha intacta mientras pasea por la playa. Las criaturas marinas que producen conchas son incontables y, a pesar de las dimensiones de nuestros océanos, hay un número suficiente de ellas para que sea habitual encontrar conchas dignas de coleccionar. De hecho, si quisiéramos, podríamos calcular la probabilidad de encontrar no solo una concha, sino un tipo específico de concha en un tramo de playa

concreto. Si supiéramos un poco acerca del número de almejas que habitan las aguas del cabo Cod, por ejemplo, podríamos predecir la frecuencia con que cabría esperar encontrarlas en las playas que rodean Provincetown. Y lo mismo se puede decir de una concha de caracol rosado en una playa de Florida.

Si Oumuamua es un asteroide o cometa de origen natural, podemos formular la siguiente pregunta: ¿cuántas rocas interestelares tiene que haber en el universo para que los seres humanos las encuentren regularmente en nuestro sistema solar? Si el espacio interestelar estuviera colmado de asteroides y cometas, como los que forman la conocida familia ligada al Sol, no nos impresionaría verlos. Al fin y al cabo, como ya he dicho, cuanto más hay de algo, más probable es que lo encuentres. Ahora bien, si en el espacio interestelar existe solo un pequeño puñado de esas rocas, sería más asombroso aún encontrarlas en nuestro sistema solar.

Como es evidente, el espacio interestelar es más vasto, por muchos órdenes de magnitud, que los océanos de la Tierra. Esto significa que, para encontrar habitualmente en nuestro sistema solar dichos objetos interestelares, tendría que haber una cantidad colosal de ellos flotando por ahí. Sabemos que estas rocas son las piezas que conforman los sistemas planetarios que orbitan alrededor de las estrellas.

En verdad, «colosal» está muy lejos de hacer justicia a la cantidad que se calcula que habría de haber. Para explicar una suma tan abundante de rocas como se infiere del descubrimiento de Oumuamua, a lo largo de su vida cada estrella de la Vía Láctea tendría que expulsar 10^{15} de esos objetos del material rocoso que tiene a su alrededor. Para haceros una idea del tamaño de esa cifra —mil billones—, coged un trozo de papel y escribid un uno seguido de quince ceros. No llega al número de planetas habitables en el universo observable (10^{21}), pero representa igualmente un montón de objetos despedidos de cada una de las estrellas de nuestra galaxia. Los sistemas planetarios alrededor de las estrellas son las regiones donde es probable que se formen grandes objetos sólidos.

Nuestro propio Sol no ha sido ni de lejos tan pródigo con sus componentes planetarios. En 2009, casi una década antes de que se descubriera a Oumuamua, publiqué un artículo con Amaya Moro-Martín y Ed Turner en el que usábamos una historia dinámica de nuestro sistema solar para predecir la suma de diferentes objetos interestelares; es entre dos y ocho órdenes de magnitud inferior a la cantidad necesaria para explicar el descubrimiento de Oumuamua. En otras palabras, el número de objetos interestelares predichos por nuestra proyección era al menos cien veces inferior al necesario para la hipótesis de que Oumuamua fuera una roca interestelar cualquiera. En sí mismo, esto no descarta que sea una roca como las que conocemos, pero hace que descubrirla en nuestro sistema solar sea insólito estadísticamente hablando.

Dicho de otra forma, la idea de que Oumuamua fuera una roca de origen natural implicaría que el número de objetos interestelares desperdigados fuera mucho mayor del que creemos y del que nuestro sistema solar predice. Por tanto, o bien muchísimas de las demás estrellas son muy diferentes de la que nos da la vida, o bien hay gato encerrado.

. . .

En 2018 un pequeño grupo de científicos retomó la cuestión de la afluencia de rocas como Oumuamua en el espacio interestelar. Estudiando la capacidad de Pan-STARRS para detectar objetos similares al señalado, llegaron a varias conclusiones de carácter general.[1]Entre ellas está la idea comunmente aceptada de que «muchos aspectos de Oumuamua son fascinantes e inquietantes». Pero también descubrieron que, por unidad de volumen, la cantidad de material interestelar necesario para que Oumuamua fuera una roca cualquiera exigiría «índices de eyección de masa» muy superiores a lo esperado, hasta mil billones (10^{15}) de objetos del tamaño de Oumuamua por estrella, repartiendo más o menos un objeto por unidad de volumen interestelar (cuya circunferencia se define según la órbita de la Tierra alrededor del Sol). En dos artículos posteriores, mi excolaboradora Amaya Moro-

Martín demostró que el volumen natural de objetos similares a Oumuamua en órbitas aleatorias está varios órdenes de magnitud por debajo del valor necesario, aunque cada sistema planetario expulsara todo el material sólido esperado.[2]

Estas conclusiones complican de forma interesante el fruto de nuestro hallazgo de 2019. Una complicación guarda relación con los orígenes del material interestelar, que se divide en dos grandes categorías: material rocoso árido (sin hielo, o con muy poco) y material rocoso congelado.

Las rocas del primer grupo se gestan principalmente durante la formación de los planetas. Esto sucede cuando las partículas de polvo se pegan y aumentan de tamaño hasta llegar a formar planetesimales, que al final se combinan y dan pie a los planetas. Pero el primero de los estudios indicados concluía que la densidad que haría falta para explicar un Oumuamua de origen natural «no puede producirse de la eyección de material desde el interior de un sistema solar durante la formación de los planetas». Es decir, durante la formación planetaria no se expulsa suficiente material para conseguir la densidad necesaria.

Para lograr dicha densidad de objetos de origen natural, estos científicos tenían que plantear una fuente adicional de objetos interestelares como Oumuamua. Y para ello, volvieron la mirada al material expulsado de las nubes estelares de Oort: los mantos de objetos congelados en los confines más remotos de estos sistemas. Cuando una estrella se acerca al final de su vida, la atracción gravitatoria que ejerce sobre los cuerpos que componen la nube de Oort se debilita, de forma que los objetos se sueltan. Aun así, en su segundo artículo, Amaya Moro-Martín descubrió que, aunque todas las estrellas a punto de morir contribuyeran con los restos de su nube de Oort al espacio interestelar, no aportarían suficiente material para lograr la densidad necesaria.

El problema que entraña la explicación del «origen natural» de Oumuamua es la necesidad de una cantidad suficiente de material interestelar. La burda analogía de las conchas de mar nos sirve; para que sea factible descubrir una concha intacta en una playa, tiene que haber un sinnúmero de ellas en el mar. Lo mismo

cabe decir de la llegada de un Oumuamua de origen natural a nuestro sistema solar. Para que sea un objeto encontrado al azar, necesitamos que haya un montón de ellos en el universo; y para alcanzar esa densidad, necesitamos objetos liberados tanto por la formación planetaria como por las nubes de Oort.

Por supuesto, ya hemos determinado que Oumuamua no era de hielo. (Si no hay desgasificación, no hay hielo.) Así pues, es muy improbable que un Oumuamua de origen natural hubiera venido de una nube de Oort.

En resumen, si Oumuamua fuera un objeto natural, tendría que haberse generado durante la formación de un planeta. También debería pertenecer a una clase desconocida de objetos generados durante la formación planetaria cuyo tamaño, forma y composición hacen que se desvíe de una trayectoria definida solo por efecto de la gravedad solar, sin desgasificación visible.

Por ahora no sabemos de ningún otro objeto que cumpla con el segundo conjunto de criterios. Pero conocemos al menos uno que cumple el primero.

. . .

Al poco de descubrirse Oumuamua, encontramos nuestro segundo objeto interestelar. Para cuando leáis este libro, probablemente hayamos encontrado otros.

Este segundo objeto interestelar se denominó 2I/Borisov, por Guennadi Borisov, el ingeniero y astrónomo aficionado ruso que el 30 de agosto de 2019, usando un telescopio de sesenta y cinco centímetros fabricado por él mismo, avistó el objeto en el cielo de Crimea. Y Borisov fue el primero en certificar que su trayectoria era hiperbólica. Igual que había sucedido con Oumuamua, 2I/Borisov se movía demasiado rápido para estar atrapado por la gravedad del Sol. Por tanto, igual que Oumuamua, 2I/Borisov había venido de fuera de nuestro sistema solar y seguía una trayectoria que lo llevaría a cruzarlo y salir de él.

Pero, más allá de eso, 2I/Borisov no tenía nada de especial. Era un cometa interestelar, sin ningún género de duda, y por ello

era peculiar; cualquier objeto interestelar es una rareza. Pero su peculiaridad acababa ahí. Su cabellera y desgasificación recordaban a las de los cometas de nuestro sistema solar en todos los sentidos; 2I/Borisov contenía hielo y no era exótico en absoluto.

La cuestión es que su descubrimiento no nos acercó a una explicación naturalista para el extravagante Oumuamua. Más bien hizo lo contrario, pues recalcó lo especial que realmente era Oumuamua. Cuando conocí a mi mujer y vi lo especial que era, me casé con ella. Ninguna de las personas que he conocido desde entonces le arrebatan sus cualidades extraordinarias; lo único que hacen es acentuar mi sensación de asombro por lo singular que es.

Tanto Oumuamua como 2I/Borisov fueron intrusos interestelares en nuestro sistema solar, pero, exceptuando eso, eran radicalmente diferentes entre sí, dado que entre todas las características de 2I/Borisov figuraba un origen en el espacio-tiempo que no tenía nada extraordinario.

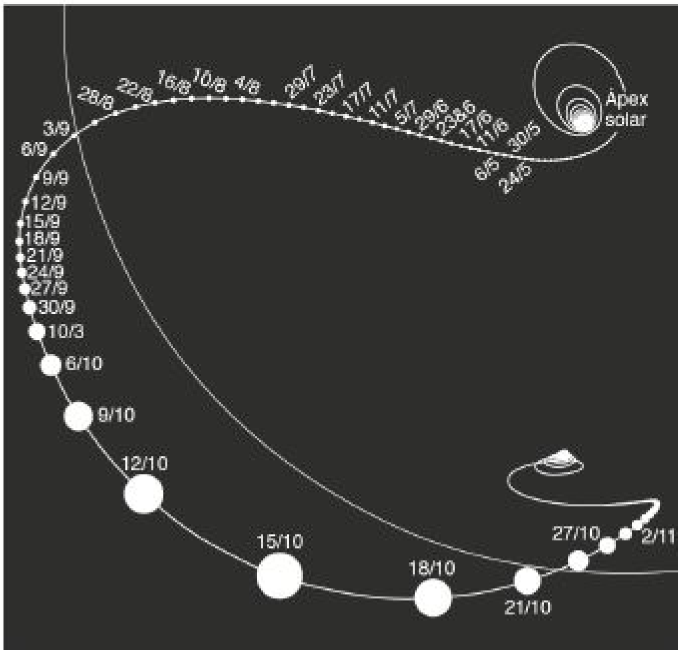
Oumuamua no. De hecho, su procedencia en el espacio de velocidad-posición es otra de sus peculiaridades más pronunciadas, y un indicio más de su atípico origen. También es otra clave que nos puede ayudar a desvelar el misterio de lo que era Oumuamua y de lo que estaba haciendo en el vacío del espacio interestelar.

Para entenderlo, hay que saber qué es el espacio de velocidad-posición. Tal vez sea un poco difícil de asimilar, pero se resume en que la posición que ocupa un objeto en el espacio no solo se define por dónde se encuentra en relación con todo lo que lo rodea, sino también por su velocidad con respecto a la velocidad de todo lo que lo rodea. Imaginaos una carretera interestatal de varios carriles muy transitada y ancha. Está repleta de coches y todos viajan a velocidades ligeramente distintas; algunos están adelantando a otros coches, otros se quedan atrás, algunos están muy lejos del límite de velocidad, mientras que otros lo superan con creces.

Si calcularais el movimiento promedio de estos coches, veríais que algunos están figuradamente «en reposo» respecto a todos los demás. En lo que se refiere al resto del convoy, estos coches no estarían adelantando ni quedándose rezagados. Entre todo ese

movimiento, esos coches estarían, comparativamente, en reposo.

Pues lo mismo con las estrellas. Todas las estrellas en las inmediaciones del Sol se mueven unas con respecto a otras. La media de sus movimientos se llama sistema de reposo local (o LSR, por sus siglas en inglés). En el movimiento de todas esas estrellas, un objeto en el LSR está relativamente quieto. Y es un suceso relativamente raro.



Trayectoria celeste de Oumuamua vista desde la Tierra. Los números indican las sucesivas fechas del avance del objeto. El tamaño relativo de cada círculo nos da una vaga idea de cómo varía la distancia de Oumuamua a lo largo de su trayectoria aparente. También se muestra la dirección del movimiento del Sol respecto al sistema de reposo local, o LSR (etiquetada como «ápex solar»). El hecho de que el objeto venga de esa dirección significa que inicialmente se encontraba en el LSR. Entre el 2 de septiembre y el 22 de octubre de 2017, la trayectoria de Oumuamua cambió del sistema de reposo local al sur del plano de la eclíptica del sistema solar (definido por la línea delgada).

Mapping Specialists, Ltd. Adaptación de Tom Ruen (CC BY 4.0)

Oumuamua ocupaba el LSR.

O al menos lo ocupaba antes de que se acelerara. Más o menos cuando se topó con nuestro Sol, pasó de estar parado —respecto al movimiento medio de las estrellas que tenemos cerca, incluida la nuestra— a alejarse de nosotros. El impulso de la gravedad solar lo sacó bruscamente del LSR, como si uno de esos coches «parados» en la autopista de varios carriles saliera disparado violentamente. En consecuencia, Oumuamua se separó del LSR, emprendiendo un rumbo que lo llevaría a salir a toda velocidad de nuestro sistema solar, como una pelota de tenis tras ser golpeada por la raqueta.

Es curioso que Oumuamua estuviera en estado de reposo en el LSR. Pensad que solo una de cada quinientas estrellas está quieta en el marco del LSR, como lo estaba Oumuamua antes de salir despedido.[3]Nuestro propio Sol, por ejemplo, se mueve a unos 72.000 kilómetros por hora con respecto a este marco, unas diez veces más rápido que Oumuamua antes de que el Sol lo catapultara y lo expulsara del LSR.

¿Cómo puede estar un objeto en este estado de reposo? ¿Qué debería haber pasado para que un objeto acabara moviéndose a una velocidad tan característica cerca de nosotros? Como con todas las peculiaridades de Oumuamua, nuestras respuestas dependen de las suposiciones que hagamos en relación con sus orígenes.

Empecemos por una hipótesis más del agrado de la mayoría de los científicos que la mía de la vela solar: si asumimos que Oumuamua era una roca árida, tal vez la estrella madre de la que salió despedida era una de las que ocupan el LSR (una de cada quinientas).

¿Esto podría explicar el hecho de que Oumuamua también ocupara el LSR? Sí, quizás, si salió de su sistema de origen con suma delicadeza. Para entender por qué, solo hay que usar el sentido común: un objeto expulsado violentamente de un sistema

estelar en el LSR saldría despedido en un marco de referencia diferente. Un objeto solo mantendría el mismo marco de referencia si fuera arrojado con suavidad de su sistema de origen.

Aun a riesgo de forzar la analogía, volvamos a la autopista de varios carriles. Imaginaos una moto entre los pocos vehículos que están «en reposo» respecto a los coches y camiones que circulan a su lado. Ahora imaginaos esa moto con un sidecar sujeto solo con un alfiler bien engrasado. Nada más quitar ese alfiler, el sidecar y la moto permanecerían en reposo relativo. Y aquí viene donde tensamos de verdad la analogía: si en la autopista no hubiese fricción, la moto y el sidecar conservarían su posición y velocidad en relación con todo el tráfico alrededor. De igual modo, si un planeta en el LSR libera con suavidad un fragmento de sí mismo, este se mantendría en el planeta en el LSR.

Separarse suavemente de una estrella madre es posible, pero estadísticamente improbable. Los fragmentos de planetas no se desprenden con facilidad; y el tipo de suceso que liberaría un trozo de planeta no suele ser algo que uno describiría como suave. Para impactar sobre un planeta en el LSR y provocar la eyección de un objeto que permaneciera en dicho estado de reposo, habría que propinar un golpe extremadamente esmerado con la precisión planetaria de una pluma. La probabilidad de que eso ocurra se estima en un 0,2 %.

También puede ser que Oumuamua proviniera de una de las estrellas de ese 99,8 % que tiene un movimiento relativo notable con respecto al LSR. Pero para que este fuera el caso, la maniobra de eyección tendría que haber sido un trallazo, más que un golpecito, además de uno bastante preciso. Para expulsar un objeto de un sistema estelar que no esté en el LSR y colocarlo precisamente en dicho estado de reposo relativo, habría que golpearlo a una velocidad exactamente equivalente y contraria a la de la estrella madre. El impacto tendría que contrarrestar perfectamente el movimiento del sistema de origen para generar un objeto en el LSR. Imaginaos la dificultad que entrañaría para un cirujano acometer una operación delicada con un instrumento tosco como un martillo.

Ambas posibilidades, la de la pluma y la del martillo, hacen harto improbable esta hipótesis de que Oumuamua fuera expulsado de forma natural de un sistema de origen a la velocidad del LSR.

Esto nos deja una tercera hipótesis un tanto más factible.

Un objeto expelido de un sistema de origen a la velocidad del LSR podría permanecer en ese estado si su expulsión se diera en los confines más alejados del sistema. Allí, como es obvio, la atracción gravitatoria de la estrella madre es mucho menor. En realidad, es probable que sea precisamente de esas capas exteriores análogas a la nube de Oort de donde provengan los asteroides y cometas interestelares que consiguen liberarse de sus sistemas de origen. Cuanto más endeble sea la atracción gravitatoria de la estrella —tanto si está en el LSR como si no—, más fácil será que algunos restos de las capas más externas se suelten, atraídos por otra fuente de gravedad.

La nube de Oort de nuestro sistema solar, formada por billones de cometas, es un buen ejemplo de ello. Su cáscara de objetos congelados está a 100.000 unidades astronómicas (UA) del Sol (cada UA es la distancia que separa la Tierra del Sol, unos 150 millones de kilómetros). La atracción gravitatoria del Sol sobre el material que compone la nube de Oort es mucho menor que la que ejerce sobre la Tierra, por ejemplo. A esa distancia, es posible que un impulso a menos de 3.500 kilómetros por hora —como podría provocar el encuentro con una estrella de paso— bastara para mandar un objeto al vacío interestelar.

Por tanto, si Oumuamua proviniera de una capa de objetos congelados parecida a la nube de Oort, en la órbita de un sistema en el LSR, se podría explicar su velocidad. Pero esto no explica que Oumuamua fuera una roca árida.

Lo mires por donde lo mires, el origen dinámico de Oumuamua —que ocupara el LSR antes de dar con nuestro sistema solar— es extremadamente raro. Y es aún más raro si consideramos el requisito de que sea un objeto natural lo bastante árido como para no producir desgasificación visible al desviarse de la trayectoria explicable por la fuerza gravitatoria del Sol.

Esto nos lleva a nuestra segunda hipótesis: que Oumuamua

fue un objeto fabricado y diseñado específicamente para desplazarse a la velocidad del LSR. Quizás hace mucho, mucho tiempo, Oumuamua no fue chatarra, sino equipamiento tecnológico extraterrestre fabricado para cumplir un fin concreto.

Tal vez pretendía ser una especie de boya.

. . .

Normalmente nos imaginamos a Oumuamua aproximándose a toda velocidad hacia nosotros, pero sería más ilustrativo ver las cosas desde su punto de vista. Desde su propia perspectiva, el objeto estaba en reposo y nuestro sistema solar chocó contra él. O, dicho de una forma que funciona tanto metafórica como (quizás) literalmente, tal vez Oumuamua era como una boya estática en el firmamento y nuestro sistema solar fue el barco que la arrolló a gran velocidad.

La hipótesis de que los extraterrestres inteligentes diseñaron a Oumuamua para que estuviera en el LSR plantea una pregunta obvia: ¿por qué se molestarían en hacerlo? Se me ocurren mil razones. Tal vez querían el equivalente interestelar a una señal de *stop*. O quizás era más como un faro o, dicho más llanamente, un letrero o una baliza de navegación. Una telaraña inmensa de estas boyas podría servir como red de comunicación. O se podría usar como cable trampa, un sistema de alerta que se activaría cuando uno de los componentes saliera del LSR. En este sentido, puede que sus creadores quisieran encubrir los orígenes espaciales de la red y de sí mismos. Colocar un objeto en el LSR camufla eficazmente a quien lo mete ahí. ¿Por qué? Porque con bases matemáticas y un conocimiento mínimo de la trayectoria nos basta para deducir dónde está la plataforma de lanzamiento original de un objeto; ese es uno de los objetivos primordiales del North American Aerospace Defense Command (NORAD). Tened en cuenta que cualquier ser inteligente con ciertas nociones matemáticas y un buen mapa del universo podría seguir hasta la Tierra los pasos de cualquiera de las naves interestelares que hemos lanzado desde la superficie de nuestro planeta.

El carácter telúrico de estas analogías no solo refleja que el autor de este libro también es terrícola. La civilización humana ha construido boyas, redes de satélites de comunicación y sistemas de detección y alerta, por lo que es probable que otras civilizaciones hagan lo mismo. Es más, estas conjeturas son plausibles por una simple razón: cualquiera de estas cosas son objetos que la humanidad podría diseñar, construir y lanzar si quisiera. Nuestras razones no tendrían que ser ni siquiera interestelares. Por ejemplo, si la India hubiera lanzado un objeto como ese al espacio, los científicos de la NASA se podrían plantear por qué, pero no se asombrarían de que un objeto pequeño, plano y luminoso marcado con el logo de la Agencia India de Investigación Espacial acabara en el LSR.

Es difícil aceptar que esta sea la respuesta a Oumuamua, porque nos obliga a admitir que Oumuamua es de origen extraterrestre. Y el escollo radica en que debemos sopesar seriamente la posibilidad de que no seamos los únicos seres inteligentes del universo.

. . .

Una boya. Una red de cápsulas de comunicación. Señales por las que una civilización extraterrestre podría guiarse. Bases de lanzamiento para sondas. Tecnología extinta o restos tecnológicos desechados por otros organismos vivos inteligentes. Todas son explicaciones plausibles para el misterio de Oumuamua. Son plausibles porque la humanidad ya está haciendo estas cosas en la Tierra, aunque a una escala mucho más limitada, y sin duda consideraríamos el replicarlas si fuéramos a explorar el espacio interestelar.

Lo que hace poco plausibles estas hipótesis es la incapacidad para conjeturar una inteligencia extraterrestre. Excluid esa posibilidad y poned encima de la mesa todas estas explicaciones. Si os negáis a mirar por el telescopio, poco importa si se encuentran o no pruebas concluyentes. Quizás sea la sombra de los cuentos de ciencia ficción, o simplemente la incapacidad de algunas personas

por ampliar el abanico de hipótesis que van a barajar, pero sondear una explicación que postule la existencia de una civilización extraterrestre es casi lo mismo que mostrar a los escépticos un telescopio que se niegan en rotundo a usar.

El mejor antídoto para una actitud tan recalcitrante, para mí, es pensar por uno mismo. Si cualquiera de estas ideas parece disparatada, estrambótica o irreal, limitaos a recordar las pruebas que tenéis ante vosotros.

Los datos señalan que Oumuamua era un disco luminoso y plano en el LSR que, al encontrarse con la atracción gravitatoria del Sol, se desvió de una trayectoria explicable por la gravedad, y sin que hubiera desgasificación o desintegración visible.

Estos datos se pueden resumir de la siguiente manera: estadísticamente hablando, Oumuamua es una *rara avis*.

Usando cálculos de probabilidad muy conservadores, basándonos solo en su forma, rotación y luminosidad, un Oumuamua cometario sería un objeto que aparecería de forma natural una de cada un millón de veces. Y si intentáis atribuirle una composición que explique su desviación respecto de la gravedad solar mediante una desgasificación invisible para nuestros instrumentos, tendréis igualmente un objeto tan raro que solo aparece una de cada miles de veces.

Pero aquí no acaba todo. Recordad lo rarísimo que es que la velocidad de rotación de Oumuamua tampoco cambiara. Quizás solo uno de cada mil cometas mantiene una rotación uniforme a pesar de la significativa pérdida de masa que conlleva la aceleración no gravitatoria. Si Oumuamua era uno de estos raros cometas, estamos hablando de un objeto que aparece cada mil millones de veces.

Y luego está su velocidad invariable de rotación. Si hubo desgasificación y desintegración natural que nuestros instrumentos fueron incapaces de ver, esos supuestos reactores de Oumuamua tendrían que haberse neutralizado perfectamente entre sí. Si esa es otra coincidencia de una entre mil, Oumuamua sería un suceso que se daría una de cada un billón de veces.

Y aún tenemos que considerar la ubicación inicial de

Oumuamua en el espacio de velocidad-posición, el hecho de que estuviera en el LSR. Recordad que solo hay un 0,2 % de posibilidades de que una estrella madre esté en el LSR, por lo que la probabilidad de que Oumuamua sea solo un cometa se aproxima a una entre mil billones.

Estas cifras disparan el escepticismo y piden encarecidamente una explicación alternativa. Fueron las cifras que me llevaron a sugerir a Shmuel Bialy que buscáramos otra hipótesis más plausible. Y solo se nos ocurrió una que concordara con la aceleración no gravitatoria: el impulso excepcionalmente uniforme de Oumuamua emanó de la luz solar.

Esto armonizaba a la perfección con otro parámetro clave. Por lo que parece, y como señalaron los observadores, el exceso de fuerza que actuó sobre Oumuamua y lo hizo desviarse menguó de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al Sol. Es lo que cabría esperar si esa fuerza proviniera de la luz solar reflejada.

Pero la presión de radiación no es muy potente. Si este fuera realmente el motivo, calculamos que Oumuamua debería medir menos de un milímetro de grosor y al menos veinte metros de ancho. (El diámetro depende de la reflectancia del objeto, que es desconocida. Si Oumuamua fuera un reflector perfecto que reflejara el 100 % de la luz, en este escenario de extremada delgadez mediría veinte metros de largo.)

No hay nada en la naturaleza con esas dimensiones, que sepamos, y no hay ningún proceso natural conocido que pueda generarlas. Ahora bien, la humanidad sí ha fabricado algo que cumple los requisitos e incluso lo hemos lanzado al espacio: una vela solar.

Hemos llegado a esta hipótesis a través de la lógica y los indicios; en plata, siendo fieles a los hechos. Pero si nos tomamos en serio esta hipótesis, podemos poner encima de la mesa interrogantes nuevos e increíbles sobre cómo apareció Oumuamua en nuestro universo y de dónde vino. Como voy a explicar a continuación, nos brinda incluso la oportunidad de plantearnos si algún día podríamos conocer a los creadores de este misterioso

visitante.

La hipótesis de la vela solar abre la puerta a un mundo de posibilidades, a diferencia de la hipótesis del cometa, que la cierra. El hecho de que el consenso científico favorezca de forma acérrima la más conservadora y restrictiva de estas posibilidades no dice tanto de los indicios como de los profesionales y de la cultura científica en sí misma.

7

Aprendamos de los niños

¿Estamos solos? Esta pregunta es una de las más fundamentales que aborda la humanidad. El momento en que tengamos una respuesta concluyente, sea negativa o positiva, será el momento en que nos demos cuenta de algo profundo. No hay duda de que hay pocos enigmas cosmológicos tan trascendentes.

Claro, sería revolucionario descubrir qué hubo antes del *big bang,* adónde va la materia que se tragan los agujeros negros o qué principios teóricos acabarán conciliando la relatividad con la física cuántica. De hecho, he invertido buena parte de mi vida y carrera a responder a los dos primeros interrogantes. Pero las respuestas a estas preguntas ¿cambiarían tanto nuestro sentido personal como lo haría el descubrir que solo somos una especie inteligente de muchas?, ¿o el descubrir que, por el contrario, somos la única consciencia inteligente que ha aparecido en el universo? Lo dudo.

Como esta pregunta me parece tan trascendental, encuentro curiosos el desdén y la poca frecuencia con que los científicos han intentado responder a ella. Esta actitud no empezó con la resistencia a mi teoría de la vela solar, ni mucho menos. La reticencia de los científicos a leer los mensajes de Oumuamua se remonta a mucho antes de su paso por nuestro sistema solar.

. . .

La búsqueda de vida extraterrestre nunca ha sido más que una rareza para la mayoría de los científicos; para ellos, es un tema que en el mejor de los casos merece un interés desapegado y, en el peor

de los casos, el puro escarnio. Pocas personas de renombre han dedicado su carrera a impulsar este campo. Incluso cuando la idea estaba en su apogeo de prestigio académico, en los setenta, solo unos cientos de expertos estaban asociados públicamente con el Instituto SETI. Ya sabemos que hay muchos más campos especulativos de ejercicio matemático que atraen a comunidades mayores de físicos.

La búsqueda de inteligencia extraterrestre empezó a tomarse un poco más en serio en 1959, cuando dos físicos de la Universidad Cornell, Giuseppe Cocconi y Philip Morrison, coescribieron un revolucionario artículo titulado «Searching for Interstellar Communications» [La búsqueda de comunicaciones interestelares]. El escrito, publicado en la prestigiosa revista científica *Nature,* hacía dos simples conjeturas.[1]Primero, que existían civilizaciones extraterrestres tan avanzadas como la nuestra, si no más. Segundo, que esas civilizaciones transmitirían seguramente el mensaje interestelar diciendo «Existimos» en la frecuencia de 1,42 Ghz, ese «estándar único y objetivo de frecuencia que debe conocer cualquier observador del universo». Cocconi y Morrison se referían a la longitud de onda de veintiún centímetros del hidrógeno neutro: la misma emisión de radio a la que yo y otros astrofísicos prestamos atención casi medio siglo más tarde, al intentar volver la mirada hacia atrás hasta el amanecer cósmico.

El artículo causó inmediata sensación, presagiando el nacimiento de la búsqueda de inteligencia extraterrestre y fijando la base para todas las búsquedas posteriores con esta frase final: «La probabilidad de éxito es difícil de estimar; pero si no buscamos nunca, la probabilidad de éxito es cero». Para mí, esto enlaza con un principio mucho más antiguo atribuido a Heráclito de Éfeso: «Si no esperas lo inesperado, no lo descubrirás».

El artículo de Cocconi y Morrison también me trae a la mente otro viejo dicho: la gente que solo tiene un martillo no ve más que clavos. Los dos hombres escribieron su artículo un cuarto de siglo después del nacimiento de la radioastronomía, un hecho que seguramente les ayudó en su afán por «esperar lo inesperado». Como sucede con la hipótesis de la vela solar de un servidor y de

Bialy, parece que los humanos nos volvemos más aptos para detectar los vestigios tecnológicos de civilizaciones alienígenas una vez que hemos inventado las tecnologías nosotros mismos.

El texto de Cocconi y Morrison inspiró en el acto al astrofísico Frank Drake, también de Cornell, que en 1960 decidió llevar a cabo el mismo tipo de búsqueda que defendían Cocconi y Morrison. Usando el Observatorio Nacional de Radioastronomía de Green Bank, Virginia Occidental, Drake escudriñó dos análogos solares cercanos, Tau Ceti y Épsilon Eridani. Durante ciento cincuenta horas repartidas en cuatro meses, Drake usó el radiotelescopio para buscar una señal distinguible que denotara la existencia de vida inteligente, pero fue en vano. La desmedida ilusión con que Drake inició la búsqueda de vida extraterrestre se plasma en el nombre que dio al proyecto: Ozma, derivado de un personaje inventado por el novelista L. Frank Baum en sus libros sobre el país de Oz.

El proyecto de Drake fue recibido con gran interés y popularidad en la prensa. El hecho de que no se descubriera nada después de unas doscientas horas de observación apenas hizo mella en el entusiasmo generalizado. Aprovechando la inercia de ese interés, a principios de noviembre de 1961 Drake participó en una conferencia informal patrocinada por la Academia Nacional de las Ciencias en el National Radio Astronomy Observatory. Fue la primera vez que articuló la ecuación de Drake, que usó para estimar el número de civilizaciones extraterrestres que estarían comunicando información de manera activa.

Ahora la ecuación se estampa en camisetas y condiciona la sinopsis de novelas de adolescentes. Gene Roddenberry la corrompió para conferir una pátina de realismo a la serie de televisión *Star Trek* y ha sido duramente criticada y retocada por los científicos desde que apareció. Sin embargo, entre tanto ruido se ha perdido de vista la idea de que la ecuación no es más que un recurso heurístico y abreviado para descartar las diferentes condiciones que afectan al éxito de la búsqueda de inteligencia extraterrestre. Su expresión estándar es la siguiente:

$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L,$$

en la que cada factor se define así:

N: el número de especies en nuestra galaxia con la tecnología necesaria para la comunicación interestelar;

*R**: el ritmo de formación de estrellas en nuestra galaxia;

f_p: la fracción de estrellas con sistemas planetarios;

n_e: el número de planetas en cada sistema con condiciones ambientales capaces de albergar vida;

f_l: la fracción de planetas en que aparece vida;

f_i: la fracción de planetas en que aparece vida inteligente;

f_c: la fracción de vida inteligente que desarrolla tecnología suficientemente sofisticada para enviar comunicaciones interestelares;

L: el tiempo durante el cual esa vida inteligente es capaz de producir señales detectables.

A diferencia de la mayoría de las ecuaciones, la de Drake no pretendía ser resuelta. Lo que pretendía era más bien ser un marco de referencia para plantearse cuántas civilizaciones inteligentes podrían habitar nuestro universo. Es improbable que algún día consigamos atribuir valores a todas las variables, y menos aún que consigamos determinar el resultado total.

Aunque Drake no fue el único que ideó un marco para buscar vida extraterrestre inteligente —Ronald Bracewell propuso un método diferente en 1960 y Sebastian von Hoerner, un astrofísico alemán, otro en 1961—, para bien o para mal el suyo fue el que acabó formando los cimientos de la ciencia de la búsqueda de inteligencia extraterrestre.

Cuando digo «para mal», me refiero a que la ecuación de Drake solo hace hincapié en la transmisión de señales de comunicación; ciñó sus aspiraciones a encontrar *N* y, a partir de ahí, el número de comunicaciones interestelares que determinarían la existencia de vida extraterrestre inteligente. Este interés exclusivo en la comunicación predice la segunda limitación de la

ecuación, encarnada por su variable *L,* que representa el periodo de tiempo durante el cual una especie inteligente sería capaz de generar estas señales. Tened en cuenta, por ejemplo, que nuestra especie lleva siglos produciendo sustancias contaminantes detectables por ciertos telescopios, pero apenas lleva unas décadas emitiendo señales de radio.

Tanto *N* como *L* dejan entrever un hándicap más grave en la ecuación de Drake. Pese a toda la valía que tiene como primer intento sistemático por identificar las variables que influyen en la estimación y, por tanto, en la búsqueda de seres extraterrestres inteligentes, el propio formalismo de la ecuación fue quizás su mayor limitación. Cuando los científicos no encontraron rastro de señales de radio alienígenas, los detractores se alegraron de poder tachar de descabellada la ecuación —y la labor de toda la búsqueda de inteligencia extraterrestre— y se apresuraron a hacerlo.

En 1992, en el marco de la búsqueda de *N,* el Gobierno de los Estados Unidos concedió 12,25 millones de dólares a la NASA para iniciar un programa de radioastronomía. Al año siguiente, se acabó la financiación para la búsqueda de inteligencia extraterrestre. Cuando el Congreso retiró su apoyo y financiación, un senador, Richard Bryan, de Nevada, declaró lo siguiente: «Nos hemos gastado millones y aún es hora de que encontremos un solo muñequito verde».[2]Existen pocas afirmaciones más escuetas que reflejen la ignorancia y las suposiciones erróneas que han entorpecido nuestra búsqueda de la respuesta a la pregunta «¿estamos solos?». La suma invertida fue ínfima en términos relativos, y el listón para las pruebas se puso ridículamente alto.

Dicho eso, los primeros investigadores de este campo tampoco solían contribuir mucho a su propia causa. Su interés casi exclusivo por buscar señales ópticas y de radio ha desencadenado ideas científicas y populares perjudiciales respecto a la esencia de esa exploración y a la clase de proyectos que merecen financiación. Hace muy poco que detectamos un interés creciente por buscar biofirmas —como oxígeno y metano en la atmósfera y proliferaciones de algas a gran escala en océanos lejanos— y

tecnofirmas, como indicadores de agentes contaminantes industriales en la atmósfera planetaria e islas de calor localizadas que sugieren asentamientos urbanos.

Los miembros del nicho que busca vida extraterrestre inteligente aún están haciéndose un sitio, y la comunidad científica que debería estar apoyándolos no suele hacerlo. La ciencia humana todavía tiene que madurar, tanto en lo tocante a la búsqueda de inteligencia extraterrestre como a otros horizontes de nuestra limitada imaginación.

. . .

En mi despacho tengo un cajón con un rótulo muy simple: «IDEAS». De él cuelgan varios archivadores en los que guardo carpetas; algunos están a rebosar y otros no lo están tanto. En cada carpeta hay varias hojas de papel con ecuaciones que plasman los diversos problemas y preguntas que se me ocurren y que vale la pena responder. A menudo me los llevo cuando salgo de paseo por el jardín y por el bosque. No quiero caer en un cliché, pero normalmente se me ocurren en la ducha. (Hace poco, después de que un equipo de televisión neerlandés viniera a ver nuestra ducha para intentar documentar mi proceso de inspiración, mi esposa me compró un rotulador y una pizarra blanca resistentes al agua.)

Mucho antes de tener un cajón en el que guardar ideas —o de tener alumnos de carrera, posgrado o posdoctorado con quienes compartirlas—, ya las estaba recolectando. Han sido las semillas de las que se ha nutrido mi investigación. Hasta la fecha, esas semillas han dado pie a más de setecientos artículos publicados, seis libros (incluido el que tenéis en las manos) y un número cada vez mayor de predicciones hoy confirmadas con respecto al nacimiento de las estrellas, la detección de planetas más allá de nuestro sistema solar y las propiedades de los agujeros negros.

Con esto no quiero decir que solo me deje guiar por la imaginación. Todos mis estudios reflejan un principio básico innegociable: el contacto con los datos. Evito las especulaciones matemáticas, o lo que yo llamo «burbujas teóricas». Es común que

la astrofísica se pierda en teorías que carecen de cualquier fundamento consolidado, con las que se echa por la borda financiación y talento. Ahí fuera hay una realidad y estamos muy lejos de agotar todas sus anomalías.

Como ya he comentado a varias generaciones de mis alumnos, es peligroso irse por las ramas y acabar dedicándose a abstracciones sin (apenas) perspectivas de arrojar datos en los que basarse para extraer conclusiones. Estoy convencido de que muchos de ellos han considerado igual de peligroso estimular líneas de investigación o presentar conclusiones que contravengan el dogma científico general. Para mí, esta reacción no solo es una pena, sino que también entraña un riesgo.

Si bien estas últimas décadas han insuflado aire a la búsqueda de vida extraterrestre, no deja de sorprenderme el número de cosas que quedan por intentar, cosas infrateorizadas, infrafinanciadas y consideradas tabú por un acervo de científicos. Cuando hablo con mis colegas de profesión y describo las reacciones de mis alumnos a los dos experimentos mentales con los que empieza este libro, muchos contienen una risita. Creo que deberíamos prestar más atención y preguntarnos si no hay una verdad profesional que se oculta a simple vista en las respuestas de los estudiantes.

En oposición a las modas de las redes sociales, el progreso científico se mide por cuánto se acerca una idea propuesta a la verdad. Este hecho ampliamente aceptado sugiere que los físicos medirían su éxito por lo bien que concuerdan sus ideas con los datos, más que por lo populares que son esas ideas. Pero esto no es lo que inferimos al observar el panorama de la física teórica. Las modas tienden a determinar la financiación, y eso que a veces no se puede recuperar ni un ápice de la inversión.

Pese a carecer de pruebas experimentales, la corriente dominante de la física teórica considera irrefutables y evidentes las nociones matemáticas de la supersimetría, las dimensiones espaciales extra, la teoría de cuerdas, la radiación de Hawking y el multiverso. Citando textualmente a un prominente físico en una conferencia a la que asistí: «Estas nociones deben ser ciertas aunque no haya test experimentales para respaldarlas, puesto que

miles de físicos creen en ellas y es difícil imaginar que una comunidad tan grande de científicos con aptitudes matemáticas se pueda equivocar».

Pero dejad atrás el pensamiento de grupo y analizad con más detalle estas ideas. Por ejemplo, la supersimetría. Esta teoría, que propugna que todas las partículas tienen su pareja, no es tan natural como teóricos de alto coturno predijeron que sería. Los últimos datos del Gran Colisionador de Hadrones del CERN no hallaron ninguno de los indicios esperados en las escalas energéticas sondeadas para respaldar la supersimetría. Otras especulaciones sobre la naturaleza de la materia oscura, la energía oscura, las dimensiones extra y la teoría de cuerdas aún se tienen que probar.

Imaginad que los datos que sugieren que Oumuamua es tecnología extraterrestre sean más sólidos que los datos que validan la teoría de la supersimetría. ¿Qué se inferiría de ello? Para construir el Gran Colisionador de Hadrones, un acelerador de partículas creado con vistas a obtener pruebas que confirmaran la supersimetría, se gastaron algo menos de cinco mil millones de dólares; y su funcionamiento cuesta otros mil millones al año. Si el consenso científico acaba desechando la teoría, lo hará después de un gasto descomunal y de generaciones de trabajo. Hasta que hayamos invertido recursos similares en la búsqueda de vida extraterrestre inteligente, las declaraciones rotundas sobre lo que es o deja de ser Oumuamua se deberían juzgar de forma acorde.

Hay una retahíla de teorías más allá de la supersimetría —es inevitable pensar en el multiverso— a las que se presta una exhaustiva y deferente atención tanto dentro como fuera del mundo académico, pese a carecer de pruebas sólidas. Es algo que debería hacernos reflexionar, y no por la falta de pruebas. Nos debería preocupar por lo que revela de la cultura científica en sí misma.

Lo que nos impide considerar justamente si Oumuamua fue fabricado por extraterrestres no son las pruebas, el método en que se recabaron o el razonamiento que sustenta la hipótesis. Lo que nos bloquea el camino casi inmediatamente es una reticencia a ver

más allá de las pruebas y del razonamiento, a analizar cuáles serían las consecuencias. A veces, el problema estriba en el mensaje, a veces en el mensajero, pero cuando ambos se topan con un oyente que no quiere escuchar, surge un problema más grave que las pruebas y el razonamiento.

. . .

Hay diferentes razones por las que la búsqueda de vida extraterrestre ha atraído bastante menos atención y potencial intelectual que muchas de las anomalías que nos arroja el universo. Indudablemente, los argumentos a menudo absurdos de numerosas obras de ciencia ficción no han ayudado. Pero tampoco lo han hecho los prejuicios de los astrónomos y astrofísicos; sesgos que, a su vez, han amedrentado a nuevas generaciones de científicos.

En la actualidad, un joven astrofísico teórico tiene más posibilidades de acabar consiguiendo un puesto fijo si estudia la existencia de multiversos que si busca pruebas de vida extraterrestre inteligente. Es una lástima, sobre todo porque los futuros científicos suelen tener más imaginación durante las fases iniciales de su carrera. Durante este periodo fértil, encuentran una profesión que refrena implícita y explícitamente sus intereses, alimentando su miedo a salirse del cauce que marca el credo científico.

La generación anterior de físicos teóricos tenía la humildad suficiente para reconocer un error cuando los datos experimentales refutaban sus teorías. Pero la nueva cultura, que se regodea en su propia salsa teórica e influye en comités de premios y agencias de financiación, está formada por predicadores de paradigmas populares, pero no corroborados. Cuando los científicos redoblan su apuesta por la supersimetría, aunque el Gran Colisionador de Hadrones no ha encontrado indicios que la respalden, o cuando insisten en que el multiverso tiene que existir a pesar de que no hay datos que apuntalen la teoría, están malgastando una cantidad preciosa de tiempo, dinero y talento. Y no solo tenemos fondos limitados que invertir, sino tiempo limitado.

La ironía es que, en su día, muchos científicos adultos ya aprendieron esto intuitivamente. Cuando los niños abren su primera cuenta de ahorros, suelen caer en la trampa de imaginar las posibles fortunas que podrían acumular. Fantasean con comprar esto y aquello y piensan en todo lo que ansiarían poseer; se les hace la boca agua. Pero después de ir al cajero y ver el dinero que realmente tienen en la cuenta, sus castillos en el aire se desmoronan. No solo carecen de fondos suficientes para hacer todo lo que soñaban con hacer, sino que acaban percatándose de la lentitud con que se acumulan esos fondos. Normalmente, tras esta decepción los niños habrán aprendido a mirar sus cuentas con cierta frecuencia y a equilibrar lo que anhelan adquirir con la cruda realidad de los datos confirmables.

Una cultura científica que no ha aprendido esta lección —que no necesita verificación externa en los datos observables y confirmables y que propugna ideas consideradas naturalmente correctas debido a su belleza matemática— se me antoja una cultura que se arriesga a perder pie. Recabando datos y comparándolos con nuestras tesis teóricas, podemos saber cuál es la realidad y saber que no estamos alucinando. Es más, vuelve a confirmar algo fundamental para la disciplina. La física no es una actividad recreativa dedicada a hacernos sentir bien con nosotros mismos. La física es un diálogo con la naturaleza, no un monólogo. En teoría, los científicos tenemos que dar el todo por el todo y hacer predicciones que se puedan testar, y eso significa arriesgarse a cometer errores.

En la edad de las redes sociales, las ciencias en general —y la astrofísica en particular— necesitan recuperar su humildad tradicional. No debería ser difícil. Recopilar datos experimentales y descartar ideas teóricas se tendrían que convertir en prioridades básicas. Guiarse por los datos reconforta y ofrece recompensas más tangibles y aplicables. Antes que echar por la borda una carrera entera siguiendo callejones matemáticos que las futuras generaciones de físicos tildarán de irrelevantes, los jóvenes científicos deberían poner los ojos en áreas de investigación en las que el valor de las ideas pueda ponerse a prueba y dar frutos en

vida.

No hay ningún ámbito de investigación con mejor ratio de riesgo-beneficio que la búsqueda de vida extraterrestre. Es más, con solo once días de datos acumulados tras el paso de Oumuamua, ya disponemos de más indicios sugerentes y observables que para todas las burbujas mentales que actualmente están de moda y monopolizan con mano de hierro el campo de la astrofísica.

. . .

Es interesante prestar atención a los saltos intuitivos de los niños, dado que para ellos es mucho más fácil que para muchos adultos con bagajes narcisistas o prejuicios intelectuales. Cuando mis hijas, Lotem y Klil, supieron que su padre trabajaba para enviar un StarChip a Próxima b, que orbita en la zona habitable de Próxima Centauri, mostraron curiosidad; y más aún cuando les conté la suposición de que el planeta está anclado por marea: tiene un lado que siempre mira al sol y otro que da a la inmensidad oscura del espacio. Tras un momento de reflexión, mi hija pequeña, Lotem, dijo que en tal caso necesitaría dos casas: una en el lado donde siempre es de noche para poder dormir, y otra en la franja donde siempre se está poniendo el sol para poder trabajar e ir de vacaciones.

Nos equivocaríamos al asumir que la imagen que se formó Lotem del sector inmobiliario interestelar fue un mero fruto de su imaginación. Los experimentos mentales coherentes con las leyes de la física son la esencia misma de los descubrimientos, la vía para resolver las muchas anomalías que hallamos en la Tierra y fuera de ella. En la mentalidad menos rígida de los niños podemos encontrar perfectamente las ideas que impelen la ciencia y la humanidad. Y uno de los peores errores que podemos cometer es imponer suposiciones conservadoras a las ideas y los instintos de los demás, o alabar la cautela intelectual por los motivos equivocados.

La ciencia es ante todo una experiencia de aprendizaje, una

vivencia que funciona mejor si somos humildes ante nuestros errores. Así como los niños descifran el mundo a medida que chocan con él, dándose contra los bordes puntiagudos de los muebles, la primera vez que nos encontramos con una anomalía no suele ser una experiencia feliz. Las anomalías ponen patas arriba lo que creemos saber, contradicen las teorías y creencias que damos por sentadas y se resisten a nuestros intentos por encajarlas con nuestras suposiciones. Aquí es precisamente donde la ciencia debe anteponer la evidencia a la imaginación y seguir la primera hasta las últimas consecuencias.

A finales del siglo XIX, por ejemplo, los físicos detectaron algo extraño en la «radiación de cuerpo negro», la luz que emiten los objetos por estar a cierta temperatura. El espectro de la radiación de cuerpo negro tiene un solo pico, cuya longitud de onda depende de la temperatura: cuanto más caliente es el objeto, más corta es la longitud de onda de la emisión máxima del cuerpo negro. Fijaos en las estrellas: las enanas pequeñas y frías son rojas; las estrellas más cálidas como nuestro Sol exhalan un brillo amarillo; y las estrellas más grandes y calientes tienen un color azul candente. Por más que lo intentaban, los físicos no podían explicar ni predecir con precisión los corrimientos espectrales a altas temperaturas; hasta el año 1900, cuando Max Planck propuso que los objetos absorben y emiten energía en unidades discretas, o cuantos. Esta idea revolucionaria presagió la aparición de la mecánica cuántica y la era de la física moderna.

Incluso un genio de la talla de Albert Einstein mostró su desconcierto ante las extrañas propiedades del mundo cuántico, sobre todo ante el fenómeno del entrelazamiento y la idea de la no localidad cuántica: la misteriosa capacidad de dos partículas de relacionarse entre sí por más lejos que estén una de la otra. Se enfrentó a este raro concepto y acabó refiriéndose a él como «escalofriante acción a distancia». Los últimos experimentos nos indican que se equivocó al ignorar este fenómeno. Es más, cuanto más sabemos acerca de la no localidad, más cosas nos revela sobre la misma naturaleza de la realidad.

La ciencia exige en sí misma humildad, exige entender que la

imaginación humana es incapaz de abarcar toda la riqueza y la diversidad de la naturaleza. Pero la respuesta adecuada a la humildad es la fascinación y, con ella, un deseo de abrirnos a un abanico más amplio de posibilidades.

Para la ciencia, muchas veces esto implica tomar decisiones difíciles. Las decisiones, a menudo tomadas fuera del radio de influencia directo de los científicos, encauzan los proyectos hacia unas posibilidades y los alejan de otras. Por ejemplo, aunque la suma de grandes telescopios terrestres no hace más que aumentar, no son suficientes para seguir el ritmo de los astrónomos que ansían acceder a ellos. Para decidir entre las diferentes peticiones que rivalizan por la adjudicación de tiempos de observación, las instituciones y universidades han creado comités y financiado agencias que aprueban y anteponen las solicitudes guiándose por la experiencia de sus miembros, pero también por sus prejuicios y suposiciones, como es evidente. A menudo he pensado que estos órganos decisorios deberían invertir automáticamente una parte significativa de sus recursos —un 20 %, por ejemplo— a proyectos de alto riesgo. Igual que una cartera financiera, las inversiones de la humanidad en materia científica necesitan diversificación.

Pero muchos investigadores se desvían mucho de este ideal, sobre todo cuando han perdido el entusiasmo de su juventud y han ascendido por el escalafón profesional hasta posiciones de prestigio. En vez de explotar su seguridad laboral, construyen cámaras de eco de alumnos y posdoctorados que amplifican su influencia y reputación científica. Los galardones deberían ser la guinda del mundillo académico, pero muchas veces se convierten en una obsesión. Los concursos de popularidad no se entroncan en la labor de la investigación científica honesta; la verdad científica no se mide por el número de «me gusta» en Twitter, sino por la evidencia.

Una de las lecciones más difíciles de impartir a los jóvenes científicos es que la búsqueda de la verdad puede desafiar la búsqueda del consenso. Lo cierto es que nunca hay que confundir verdad con consenso. Por desgracia, es una lección que el alumno aprende más fácilmente trabajando sobre el terreno. A partir de ese

momento, año tras año, las presiones combinadas de los compañeros de profesión y las perspectivas laborales favorecen la tendencia a no jugársela.

La astrofísica no es para nada el único ámbito académico propenso a estas presiones, pero el hecho de que se fomente explícita e implícitamente el conservadurismo científico es algo que deprime y preocupa, considerando la cantidad de anomalías que aún esconde el universo. Yo no veo tan claro por qué las hipótesis extraordinarias exigen pruebas extraordinarias (las pruebas son pruebas, ¿no?); ahora bien, sí creo que el conservadurismo extraordinario nos mantiene en una ignorancia extraordinaria. Dicho de otra manera, el campo no necesita más detectives calculadores.

Para que la llama de la investigación siga ardiendo, los especialistas de mayor trayectoria no solo tienen que parapetarse con jóvenes y prometedores académicos, sino también fomentar un entorno en el que la siguiente generación de científicos pueda aportar descubrimientos a pesar de su naturaleza inherentemente impredecible. Los científicos en potencia son como las cerillas, y el contexto en el que trabajan es la caja: si, en el momento en que las necesitas para prender un fuego, se rascan contra un lado desgastado de la caja, todos salimos perdiendo. He aquí algo que aprendimos hace tiempo: si queremos que haya nuevos descubrimientos, hay que fabricar cajas nuevas.

. . .

A lo largo de la historia el progreso científico se ha ahogado muchas veces porque los guardianes que crearon e hicieron cumplir la ortodoxia creían conocer todas las respuestas de antemano. Esto es una obviedad: se condenó a Galileo a arresto domiciliario, pero eso no cambió el hecho de que la Tierra se moviera alrededor del Sol. Siglos después, el mundo respalda unánimemente a Galileo. Pero si esta es la única moraleja que sacamos de ese momento de la historia, me temo que vamos a pasar por alto otra premisa crucial. Estamos en deuda tanto con

Galileo como con las autoridades que lo amordazaron. No basta con recordar al primero. También debemos aprender a protegernos de las autoridades.

Armados con las comodidades tecnológicas del siglo XXI, los científicos nos consideramos descendientes de Galileo, más que de los hombres (fueron todos hombres) que lo acallaron. Pero este es un error similar a la recogida selectiva de los datos por parte de un científico. Nuestra civilización no solo es el producto de nuestros avances científicos, sino también de esos momentos en que los avances se demoraron o se detuvieron por diversas razones. Hoy estamos donde estamos debido a los hombres y las mujeres que miraron por el telescopio, pero también debido a los hombres y las mujeres que se negaron a hacerlo.

La ciencia es una labor en curso y la búsqueda del conocimiento científico no se acaba nunca. Pero ese progreso no sigue un camino recto y, a veces, los obstáculos con que se topa corren a cuenta de la propia humanidad. Por desgracia, hay ocasiones en las que cedemos a la *hibris* y olvidamos la humildad que acompaña a nuestra experiencia interminable de aprendizaje, como en el caso de Oumuamua. Tanto da si son las autoridades eclesiásticas, las civiles o las científicas las que declaran la victoria prematuramente y asumen que una línea de investigación ha llegado a su fin. Los ejemplos del último caso son abundantes. Con echar un vistazo rápido a esos momentos podemos dilucidar si estamos cerrando la puerta demasiado pronto a todas las hipótesis que respaldan los indicios sobre Oumuamua.

Pensad que en 1894, tras echar cuentas de los avances en la física durante el último tramo del siglo XIX, el destacado físico Albert Michelson afirmó: «Parece probable que se hayan verificado la mayoría de los grandes principios subyacentes. [...] Un físico eminente observó que las futuras verdades de la ciencia física se deberán buscar en la sexta cifra de los decimales». Pero lo cierto fue que, a lo largo de las siguientes décadas, los físicos vieron nacer las teorías de la relatividad especial, la relatividad general y la mecánica cuántica, teorías que revolucionaron nuestra comprensión de la realidad física y, por ende, desbarataron la

previsión de Michelson.

De forma parecida, en agosto de 1909 Edward Charles Pickering escribió un artículo en *Popular Science Monthly* aduciendo que los telescopios habían llegado al tamaño óptimo, de cincuenta a setenta pulgadas, y que, por tanto, tenía poco sentido fabricar instrumentos con una mayor apertura. «Muchos otros factores dependen de otras condiciones, especialmente de aquellas relativas al clima, al tipo de trabajo que se tiene que hacer y, por encima de todo, al hombre que empuña el arma», escribió Pickering. «El caso no difiere mucho del de un navío de guerra. ¿Un barco de trescientos metros va a hundir siempre uno de ciento cincuenta? Parece como si hubiéramos llegado al tamaño máximo de los telescopios y como si debiéramos esperar que la siguiente mejora viniera en otra dirección.»

Pickering estaba equivocado, por supuesto; los telescopios con aperturas más grandes recogen más fotones, con lo que los científicos pueden adentrarse más en el cosmos y remontarse más al pasado. Pickering dirigió el Observatorio del Harvard College de 1877 a 1919 y, como es lógico, sus desafortunadas palabras pesaron mucho, sobre todo en la Costa Este. El resultado fue que la Costa Oeste se convirtió en el centro de la astronomía observacional de los Estados Unidos durante las siguientes décadas.

Sucedió de forma gradual. En diciembre de 1908 el telescopio de sesenta pulgadas de George Ellery Hale, instalado en el Observatorio del Monte Wilson de California, logró su primera luz. Entraba en el rango óptimo señalado por Pickering y, aunque el telescopio de Hale se fue volviendo más eficaz, Pickering y la Costa Este se mantuvieron en sus trece, como si la cosa no fuera con ellos. Hale no; él decidió trazar su propio camino.

Al cabo de poco, Hale construyó un telescopio de cien pulgadas; empezó a funcionar en el monte Wilson en 1917 y Edwin Hubble y Milton Humason lo usaron poco después para determinar que el universo se está expandiendo, uno de los descubrimientos cumbre del siglo XX. Ese telescopio óptico de cien pulgadas fue el más grande del mundo hasta 1948, cuando se instaló uno el doble de ancho en el Observatorio del Monte Palomar de California.

Durante su larga trayectoria, el telescopio Palomar, de doscientas pulgadas, ayudó a los astrónomos a descubrir radiogalaxias y los núcleos galácticos activos conocidos como cuásares, que se alimentan del gas que cae en agujeros negros supermasivos, entre otras muchas fuentes de luz nuevas.

Y los telescopios no han parado de crecer hasta hoy. Actualmente hay varios instrumentos de diez metros y en la próxima década se espera que entren en funcionamiento tres telescopios extremadamente grandes: uno con una apertura de veinticuatro metros y medio (en asociación con el Observatorio del Harvard College, recuperando parte del terreno perdido con Pickering), otro de treinta, y otro más de treinta y nueve metros. Sus gigantescos diámetros brindarán una resolución angular sin precedentes y sus grandes áreas de recolección de luz los harán sensibles a fuentes débiles y previamente indetectables. Pickering erró por su arrogancia; no por la arrogancia personal, sino profesional. Pensó que lo que su generación de científicos observaba, entendía y juzgaba de interés era el cénit del descubrimiento; no vio que el ascenso de la ciencia consiste en llegar a una falsa cúspide detrás de otra.

Por desgracia, Pickering no ha sido el único en confundirse de esta forma. Lo cierto es que es un error recurrente en toda la historia de la ciencia. En 1925 Cecilia Payne, luego Cecilia Payne-Gaposchkin, fue la primera alumna de Harvard en doctorarse en Astronomía (aunque el título lo otorgó oficialmente Radcliffe, dado que en esa época Harvard no concedía doctorados a mujeres). Llegó a la conclusión de que la atmósfera del Sol estaba compuesta principalmente de hidrógeno. Revisando su tesis, el renombrado director del Observatorio de Princeton, Henry Norris Russell, arguyó que la composición del Sol no podía ser distinta de la de la Tierra y disuadió a Cecilia de incluir su conclusión en la versión final de la tesis. Durante los años siguientes analizó los nuevos datos para intentar demostrar el error de su alumna, pero se dio cuenta de que ella tenía razón.

La arrogancia volvió a retrasar el avance de un campo a mediados de los cincuenta, cuando Charlie Townes encontró una

resistencia feroz mientras intentaba demostrar la viabilidad del máser (acrónimo en inglés de «amplificación de microondas por la emisión estimulada de radiación»), algo que, una vez fabricado, amplificaría la radiación a la frecuencia particular de un elemento concreto. En 1954, dos nobeles, Isidor Isaac Rabi y Polykarp Kusch, visitaron su laboratorio en la Universidad de Columbia y le imploraron que pusiera fin a sus experimentos con el amoníaco, y recalcaron que el aparato no funcionaría nunca. Por suerte, Townes perseveró y los máseres se acabaron convirtiendo en dispositivos para calcular el tiempo en los relojes atómicos. También se usaron ampliamente en los radiotelescopios y en la comunicación de naves en el espacio profundo. Y en colaboración con una serie de científicos, la labor pionera de Townes con los máseres allanó el camino al desarrollo de los láseres.

He aquí un ejemplo aún más reciente. Una vez pregunté a un eminente astrónomo que estudiaba objetos en el lejano cinturón de Kuiper —el anillo de cuerpos congelados que hay más allá de la órbita de Neptuno— si estaba buscando cambios de brillo que pudieran indicar luz artificial. Se tomó a burla mi mera sugerencia: «¿Por qué? No hay nada que buscar».

Al principio, el alto mando científico consideraba los objetos del cinturón de Kuiper (KBO, por sus siglas en inglés) constructos de la imaginación. Plutón era la excepción, por supuesto. Descubierto por Clyde Tombaugh en 1930, era el KBO más grande y se pensaba que era un planeta. Más de medio siglo más tarde, el astrónomo de UCLA David Jewitt no consiguió tiempo de observación ni financiación para buscar KBO con telescopio, así que camufló su búsqueda en otros proyectos. En 1992, él y Jane Luu descubrieron finalmente el primer KBO no plutoniano con un telescopio de ochenta y ocho pulgadas en la cima del Mauna Kea de Hawái.

En todos estos casos se impidió dar un paso adelante, y no por falta de tecnología, curiosidad, imaginación o datos comprobables. El retraso fue culpa de la arrogancia, a menudo bienintencionada, de centinelas influyentes. Y por mucho que ahora nos congratulemos por las maravillas que ofrecen los telescopios más

grandes y distinguidos y por el mundo de posibilidades al que nos dan acceso, ¿qué habría pasado si los científicos hubieran hecho estos descubrimientos años o generaciones antes?

. . .

Algunos científicos se ven a sí mismos como una estirpe aparte, como miembros de una élite distinguida y cultivada. Consciente o inconscientemente, quieren separarse de la plebe. Esta mentalidad motiva, al menos en parte, el argumento de muchos científicos que conozco: según ellos, los científicos no deberían comunicarse con el público hasta que no hayan corroborado algo al cien por cien. Siguiendo su lógica, si las personas no iniciadas en los caminos de la ciencia conocieran su caótica realidad —que están repletos de trompicones y callejones sin salida—, tildarían cada resultado de preliminar o cuestionable. A algunos científicos les da miedo que, en tal caso, se pudiera descartar de un plumazo cualquier consenso científico de relevancia, como el efecto de los seres humanos sobre el clima de la Tierra y sus posibles consecuencias catastróficas para nosotros y para todas las demás especies del planeta. Esta estrategia de preservación tiene la ventaja añadida de hacer que los científicos parezcamos más listos de lo que somos en realidad y, por si fuera poco, limita las críticas externas.

Pero esta actitud es equivocada. Es nuestro deber mantener al público informado, y no solo porque buena parte de la investigación científica se financie con dinero de los contribuyentes. Un público altamente informado, motivado y entusiasmado con los avances científicos es un público que dirige su aportación financiera —y el interés y el trabajo de sus hijos, las mentes más brillantes— hacia los retos más insólitos. En este sentido, abrirnos más a lo que sabemos y a lo que no catapultará la credibilidad de los científicos a largo plazo. Si dejamos que el público se quede sin conocer nada hasta el final, también podemos alimentar la desconfianza. Al fin y al cabo, las anomalías que afrontamos no son exclusivas de los científicos. Son feudo de toda

la humanidad y, cuando hay progresos, como sucede con los avances médicos, todo el mundo se beneficia. Deberíamos enseñar a la sociedad lo que hacemos, en especial cuando nuestra labor rebosa de incertidumbres y está a merced del vaivén de interpretaciones diferentes debido a la falta de pruebas concluyentes; deberíamos permitir que todo el mundo viera cuánto nos sorprende muchas veces encontrar lo que encontramos.

Además, el oprobio general con el que el sector académico ha recibido el interés de los universitarios por la búsqueda de inteligencia extraterrestre ha tenido un efecto inhibidor en el interés de los alumnos de posgrado. Según una estimación, solo ocho académicos del mundo han finalizado doctorados en temas manifiestamente relacionados con las actividades de búsqueda de inteligencia extraterrestre. Pero eso podría estar cambiando un poco. Ahora mismo, siete alumnos van camino de doctorarse en un tema relacionado con este campo.[3] ¿Qué clase de preguntas y, por tanto, qué clase de experimentos en busca de qué clase de datos deberíamos incentivar entre la próxima generación de astrónomos? Si nos dignamos a escuchar, Oumuamua nos vuelve a interpelar. El tráfico de equipamiento tecnológico por el espacio interestelar puede ser llamativo, pero no lo podremos detectar hasta que construyamos instrumentos lo bastante sensibles para ello.

En ocasiones, he descrito la búsqueda de vida extraterrestre como la inversión capitalista definitiva en la investigación científica (¡mando un saludo desde aquí a Yuri Milner!). Cualquier método de búsqueda entraña sus riesgos, como las inversiones. En la búsqueda de inteligencia extraterrestre, tenemos pocas claves respecto a las propiedades de la aguja que buscamos en el pajar del universo, pero si encontramos una sola aguja, la recompensa será tremenda. El rédito de una inversión como esta dejaría en nada otros intereses científicos más cerrados de miras. El simple hecho de saber que no estamos solos transformaría a la propia humanidad, por no hablar del conocimiento que extraeríamos de ese descubrimiento.

Sé que puede resultar difícil, sobre todo para los científicos jóvenes, defender ideas que el credo dominante considera

estrafalarias. En este momento de mi vida poseo una estabilidad profesional considerable, así como una aversión inherente a buscar la aprobación de los demás, la cual se remonta a mi primer día de colegio. Aun así, tal vez no habría estado preparado para proponer la hipótesis de que Oumuamua era una vela solar alienígena —o para explorar las posibilidades que ese hecho encerraba— si no me hubieran llamado la atención sobre la fragilidad de la vida y sobre el poco tiempo que tiene cada uno para promover el bien común. De ello es responsable, al menos en parte, mi labor científica con el universo, aunque no exclusivamente.

8

La inmensidad

Cuando se lee un cuento de Sherlock Holmes, es fácil olvidar el punto de vista del detective. Para él, cada caso concreto es, en verdad, solo uno de tantos. Y la famosa observación de Holmes, «Descartad todos los demás factores y el que quede deberá ser la verdad», se aplica siempre a sus métodos deductivos, tanto si lo pronuncia en *El signo de los cuatro,* en «La diadema de berilos», en «El colegio Priory» o en «El soldado de la piel decolorada».

En este aspecto, los astrofísicos productivos no son diferentes de los detectives de la ficción; aunque no todas las anomalías son las mismas, el proceso para intentar desentrañarlas sí lo es.

«Descartad todos los demás factores», nos ordena Holmes. Curiosamente, hay otro factor que influye en el enigma sobre los orígenes y el propósito de Oumuamua. No tiene que ver con Oumuamua en sí, sino con el universo que está recorriendo, un universo más antiguo y vasto que cualquier otra cosa que conozcamos. Su propia antigüedad e inmensidad, de hecho, pueden ocultar la clave para resolver otro de los misterios de Oumuamua.

. . .

Una década antes de que se descubriera Oumuamua, fuimos de vacaciones en familia a la montaña Cradle, en la región montañosa de Tasmania central. Una noche salí después de cenar y alcé los ojos. Estábamos tan lejos de la civilización que no había ni rastro de la contaminación lumínica que enturbia la visión desde muchos jardines traseros del mundo. Miré fijamente el despejado

cielo nocturno.

Era sobrecogedor. Encima de mí se cernían el sinfín de estrellas de nuestra galaxia, la Vía Láctea, esparcidas por todo el firmamento. A un lado se veía la Gran Nube de Magallanes y nuestra vecina galáctica más cercana, Andrómeda, una mancha titilante e iridiscente que aparentaba tener más o menos el tamaño de la Luna. Parte de mi placer al observar esa estampa provenía de saber que no era algo atemporal. Quién sabe si la humanidad estará aquí para presenciarlo, pero lo que es seguro es que lo que vemos cuando alzamos los ojos esta noche no es más eterno que nosotros mismos.

En ese momento, era especialmente sensible a lo efímero que es el universo. Apenas unos años antes había tenido la idea original de simular la futura colisión entre la Vía Láctea y Andrómeda. Me fascinaba especialmente nuestro futuro cósmico lejano, siguiendo la línea trazada por artículos anteriores, en que había demostrado que la expansión acelerada del universo dejaría a nuestra galaxia madre en un vacío espacial. Cuando el universo tenga diez veces la edad que tiene ahora, todas las galaxias se alejarán de nosotros a una velocidad superior a la de la luz, así que la humanidad solo podrá observar las estrellas que hay en nuestra propia galaxia. ¿Qué aspecto tendría esa galaxia? Más allá de transformar el aspecto de las noches estrelladas, la colisión gigantesca con Andrómeda podría lanzar el Sol hasta los confines de la galaxia fusionada y procurarnos un nuevo vecindario cósmico para los siguientes billones de años, hasta que se extinga la luz de todas las estrellas, incluyendo las de las estrellas enanas más débiles y abundantes como Próxima Centauri. Convencí a un posdoctorado mío, T. J. Cox, para simular esta futura colisión y en 2008 anunciamos que en unos pocos miles de millones de años, mucho antes de que el Sol muera, nuestro cielo nocturno cambiará y las estrellas de las dos galaxias hermanas se mezclarán para crear una nueva galaxia con forma de balón de *rugby,* a la que bautizamos como Lactómeda.

Fue extraordinario poder reconocer los objetos de mi estudio esa noche en Tasmania. Las galaxias de la Vía Láctea y de

Andrómeda salpicaban la bóveda celeste formando una brillante cascada de luz. Es posible que, al verlas con tanta claridad, pudiera percibir el lugar que ocupaba entre ellas con más intensidad de lo habitual. Este es un placer de la astronomía. Los físicos de partículas no tienen el privilegio de ver el bosón de Higgs a simple vista.

Pero esa noche mis pensamientos no solo estaban enfrascados en la transformación de nuestra galaxia en el futuro más lejano. Mi mente daba vueltas a cómo se tuvo que encender la primera generación de estrellas y galaxias en los principios del universo, los detalles científicos sobre la génesis del universo.

El amanecer cósmico era lo que más me quitaba el sueño como astrofísico. Mi interés comenzó cuando estuve en Princeton y se fue acentuando con el paso de los años. Al final, mi investigación sobre este misterio influyó en mi estudio de otro, moldeando mi forma de pensar no solo sobre la historia del universo, sino también sobre cualquier civilización con la que podemos haberlo compartido.

Cuando alzas la mirada en una noche clareada, como hice tantos años atrás en Tasmania, las numerosas estrellas de la Vía Láctea recuerdan a las luces de cabina de una nave espacial gigante que surca el universo con pasajeros junto a algunas de estas luces. ¿Qué podemos averiguar sobre estos pasajeros, a juzgar por nuestro breve encuentro con Oumuamua? Y ya puestos, ¿qué podemos averiguar sobre nosotros mismos?

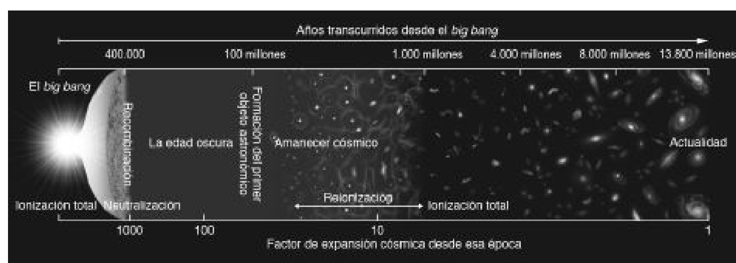
. . .

Situamos el nacimiento del universo, el *big bang,* unos 13.800 millones de años atrás. Se han llevado a cabo estudios fascinantes y reveladores que han generado teorías y datos y que han confirmado predicciones acerca de los orígenes del universo; entre otros, el consenso general de que, tras los primeros cien millones de años, todo estaba cubierto de oscuridad. Hasta que nació la primera estrella, claro está.

¿Cómo llegaron a existir las primeras estrellas? Tras mi

llegada a Harvard en 1993, esbocé una teoría para explicar su formación con Zoltan Haiman, alumno mío de posgrado, y Anne Thoul, posdoctorada mía.

Después del *big bang,* la materia se esparció de forma más o menos uniforme por un universo en rápida expansión. Este reparto casi uniforme es crucial, dado que en algunos sitios, afirmamos nosotros, el cosmos nació con una densidad un poco mayor que la media. «Un poco» significaba una cienmilésima parte más denso. Pero estas ligeras perturbaciones bastaron. Fueron suficientes para que la gravedad empezara a atraer materia hasta estas regiones más y más densas, y para que las nubes de gas, compuestas mayormente de átomos de hidrógeno, se empezaran a amontonar



Cronología del universo. El sistema solar se formó relativamente tarde, hace solo 4.600 millones de años. La tecnología moderna no apareció en la Tierra hasta el siglo pasado, hace 0,0001 millones de años. Podrían haber aparecido y desaparecido muchas civilizaciones antes de que desarrolláramos los telescopios modernos para detectarlas. Mapping Specialists, Ltd.

Trabajando con lápiz y papel, mi equipo de investigación fue perfilando la idea hasta llegar al punto en que solo podíamos avanzar con recursos informáticos más sofisticados. Volker Bromm, entonces estudiante de posgrado de Yale, asumió la tarea y a lo largo de las últimas dos décadas él y otros teóricos han corroborado que, ciertamente, el proceso que bosquejamos para el nacimiento de las estrellas podría haber dado pie a las primeras

galaxias. Los modelos y las teorías son inestimables, pero los datos que confirman ambos siguen siendo esenciales. Yo deseaba ver las nubes de gas predichas por nuestra teoría, cosa que nos forzaba a buscar pruebas de unos 13.000 millones de años de antigüedad.

Cuando los detectives astrofísicos hacen frente a los desafíos de escala que presenta el universo, se pueden sentir abrumados. Sin embargo, tienen un recurso sin parangón en ninguna otra disciplina académica. Tienen la capacidad de ver el pasado.

Como la luz viaja a una velocidad finita, cuanto más lejos observemos, más atrás en el tiempo veremos. Y como el universo tenía condiciones similares en todas partes, sumergiendo la mirada en lo profundo del espacio podemos ver nuestro propio pasado.

Además, cuanto más nos adentramos en el espacio, más antiguos son los elementos que descubrimos. Inspeccionar una estrella a cuatro años luz, como Próxima Centauri, significa observar una estrella tal como era hace cuatro años. Pero si apuntamos con nuestros telescopios a una galaxia que se encontraba a 13.000 años luz cuando se emitió esa luz, estamos atisbando el universo tal como era entonces. Remontarnos tanto en el tiempo hasta la «edad oscura» del universo, el momento en que se formaron las nubes de gas del que manaron las primeras estrellas, es un reto científico colosal. También nos obliga a contemplar las escalas temporales incomprensiblemente enormes del universo. Hoy, los humanos viven de media casi setenta y tres años. Para haber visto encenderse las primeras luces del universo hace 13.000 millones de años, tendríamos que haber vivido casi ciento ochenta millones de vidas; una idea de lo más absurda, si pensamos que la Tierra solo tiene unos 4.500 millones de años y únicamente ha albergado vida durante 3.800 de ellos.

Al escudriñar el universo, los astrofísicos también se encuentran cara a cara con la inmensidad física del cosmos. Podemos ver luz que se emitió en un instante anterior de la historia cósmica. El universo se asemeja a una excavación arqueológica centrada en nosotros. Cuanto más profundo miramos, más antiguas son las capas que desvelamos. Esta muestra de historia cósmica sigue hasta llegar al borde de la esfera visible que

nos rodea, ubicada en el *big bang,* a 13.800 millones de años luz. La luz que se origina una vez superado este confín necesitaría más tiempo que la edad del universo para alcanzarnos, por lo que las regiones más remotas no nos resultan visibles.

Sería muy atrevido por nuestra parte asumir que somos la única inteligencia en este inmenso cosmos. Aunque en muchos otros planetas pueda existir vida tal como conocemos —así como vida diferente de la que conocemos—, lo más probable es que encontremos restos de tecnologías extraterrestres antes de establecer contacto con ninguna civilización viva. Hay que tener esto en cuenta cuando sopesemos hipótesis para las misteriosas propiedades de objetos interestelares como Oumuamua.

. . .

Mi investigación sobre el amanecer cósmico contribuyó a crear un nuevo campo de estudio, lo que ha acabado denominándose «cosmología de los veintiún centímetros». Se trata de una rama de la radioastronomía que cartografía el universo en tres dimensiones usando la radiación de los átomos de hidrógeno que aparecieron con una longitud de onda de veintiún centímetros, una longitud posteriormente dilatada por la expansión cósmica.

Tal vez recordéis que este es el mismo espectro radioeléctrico de ondas con el que los humanos llenan de sonido sus televisores, radios, móviles y ordenadores. Esta idea nos inspiró a Matías Zaldarriaga y a mí a plantearnos si otras civilizaciones avanzadas también emitirían ese ruido. Pero mi interés inicial en las emisiones de veintiún centímetros se debió a que permite observar un tiempo muy anterior a cualquier posible civilización. En esa fase de mi carrera no iba a la caza de alienígenas; iba detrás del hidrógeno.

Después del *big bang,* el hidrógeno era, de lejos, el elemento más abundante del universo; el universo primitivo estaba formado por cerca de un 92 % de átomos de hidrógeno y un 8 % de átomos de helio. Pero en ese momento el hidrógeno del universo no emitía ninguna señal de radio que podamos detectar hoy. El motivo es

que, en el magma que siguió inmediatamente al *big bang,* la inmensa mayoría de la materia ordinaria del universo, el hidrógeno, estaba ionizada.

Los átomos de hidrógeno neutros contienen un solo protón y un solo electrón. Pero a temperaturas altas, y con una radiación ultravioleta intensa, se rompen (se ionizan), de forma que pierden su electrón y existen como protones de carga positiva. Esto altera su conducta o, más exactamente, el tipo de señal de radio que emiten. El electrón unido a un átomo de hidrógeno neutro puede mudar entre estados de energía más altos y más bajos, y, al hacerlo, emitir un fotón, o partícula de luz, en la forma de una onda de radio de veintiún centímetros. Pero el hidrógeno ionizado no puede hacerlo.

Unos 380.000 años después del *big bang,* el universo se enfrió lo suficiente para que los electrones y protones se combinaran y formaran átomos de hidrógeno neutro, o sea, que a partir de este momento podemos empezar a buscar la firma característica del elemento: las ondas de radio de veintiún centímetros. Durante cientos de millones de años, los átomos de hidrógeno permanecieron neutros y fueron mudando entre estados de energía más altos y más bajos, emitiendo ondas hasta que las estrellas y las galaxias se empezaron a formar. Entonces, el hidrógeno del universo se ionizó de nuevo.

Las estrellas no solo emiten luz visible; también emiten radiación ultravioleta, que puede escindir los átomos de hidrógeno en sus partes integrantes: electrones y protones. Cuando se encendieron, las primeras estrellas volvieron a ionizar los átomos de hidrógeno neutros del universo. Esto no fue tanto un momento como una era, un periodo extenso en que la luz ultravioleta de las primeras estrellas y los primeros agujeros negros abrió la oscura niebla universal de hidrógeno neutro en protones y electrones. Pero los cambios químicos en el universo proporcionaron a los astrofísicos datos que buscar; en particular, la ausencia de emisiones de veintiún centímetros. Los átomos de hidrógeno ionizados no emiten estas señales de radio, pero los neutros sí.

Así, el momento en que desaparece la señal de la emisión de

veintiún centímetros es el momento en que nacieron las estrellas. Igual que el cuento de Sherlock Holmes sobre el perro que no ladró, este misterio científico se convirtió en el caso del hidrógeno que dejó de enviar su emisión de veintiún centímetros.

En estos momentos ya se están buscando datos que nos ayudarían a concretar exactamente cuándo empezaron a brillar las estrellas. En Sudáfrica, un conjunto de múltiples antenas llamado Hydrogen Epoch of Reionization Array (HERA) está midiendo las emisiones de veintiún centímetros del universo primitivo. El Telescopio Espacial Hubble identificó hace poco una galaxia que encendió su interruptor cuando solo habían transcurrido 380 millones de años desde el *big bang*. También está previsto que en 2021 se lance el Telescopio Espacial James Webb —con cuyo primer grupo científico asesor colaboré hace décadas—, que será capaz de encontrar galaxias todavía más antiguas. Y se están desarrollando el Telescopio Gigante de Magallanes, de veinticuatro metros y medio, el Telescopio de Treinta Metros y el Telescopio Europeo Extremadamente Grande, con un diámetro de apertura de treinta y nueve metros.

Apenas hemos empezado a recabar los datos de estos proyectos y a descartar las hipótesis de cómo se iluminaron las estrellas. La respuesta, cuando la tengamos, revestirá una importancia inmediata sobre la cuestión de si hay otros seres inteligentes aparte de nosotros en todo el espacio. Si Oumuamua es tecnología alienígena, es casi una certeza que sus diseñadores también echaron un vistazo al tenue pasado de nuestro universo común y, como nosotros, extrajeron un significado del hidrógeno ionizado y neutro. Mostrarse lo bastante curioso para explorar el espacio alrededor de nuestro sistema solar o entre las lejanas estrellas es, por definición, mostrarse curioso sobre el universo: sobre cuáles son sus propiedades, qué explica su pasado y qué predice su futuro. Nuestra propia curiosidad y conducta no es solo la mejor guía para comprender la curiosidad y la conducta de la vida extraterrestre. También es cierto que los conocimientos científicos nos aportarán el idioma común que necesitaremos para entender a cualquier especie extraterrestre inteligente, tal vez

incluso para comunicarnos con ella. La ciencia también nos facilita un medio para interpretar lo que descubrimos, por muy fugaz y parcial que sea. Porque, si podemos fabricarlo, es muy probable que otros seres inteligentes, si los hay, hayan hecho lo mismo.

9

Filtros

Si la hipótesis de la vela solar es cierta, hay dos posibles explicaciones. Una es que los fabricantes de Oumuamua apuntaran adrede al corazón de nuestro sistema solar; la otra es que Oumuamua fuera un trozo de chatarra espacial que se topó con nosotros (o nosotros con él). Cualquiera de estas interpretaciones podría ser cierta, al margen de que la civilización que creó a Oumuamua todavía exista o no. Pero, dado lo que sabemos del universo y de las civilizaciones, podemos deducir algunas cosas sobre qué interpretación es más probable y qué implicaciones tiene para nosotros y para quienquiera (o lo que fuera) que creara a Oumuamua.

La idea de la chatarra espacial se parece a la hipótesis del asteroide/cometa en un aspecto determinante: implica que Oumuamua forma parte de una hueste colosal de objetos similares. Cada estrella de la Vía Láctea tendría que enviar de media mil billones de estas cosas al espacio interestelar para que cupiera la posibilidad de que uno cruzara velozmente por el campo de visión de nuestros telescopios justo mientras nosotros apuntábamos al cielo. Esto se traduce en un lanzamiento cada cinco minutos desde cada sistema planetario de la galaxia, asumiendo que todas las civilizaciones vivan tanto como la Vía Láctea, 13.000 millones de años, lo cual no es en absoluto el caso.

La idea de que otras civilizaciones pudieran llegar a fabricar tal densidad de objetos, argumentan los críticos, parece aún más irracional que todas las conjeturas necesarias para que la formación planetaria y la liberación de material de nubes

periféricas pudieran producir una cantidad suficiente de rocas. Para llenar el universo de tanta chatarra espacial, tendría que haber una infinidad de civilizaciones invirtiendo una gran cantidad de tiempo en expeler una suma ingente de material. Por supuesto, tan pronto como postulamos que detrás de la construcción de ciertos materiales se esconde un ser inteligente, también prescindimos de la necesidad de que haya una distribución fortuita de materiales. Al fin y al cabo, nosotros no enviamos nuestros cinco cohetes interestelares en trayectorias elegidas al azar. Los científicos decidieron enviarlos hacia estrellas determinadas, así que es de prever que otro ser inteligente hiciera lo mismo.

Tampoco deberíamos caer en la trampa de presuponer que las naves interestelares son raras y muy valiosas, como parecen denotar nuestras tristes cinco sondas interestelares. Dada la poca frecuencia con que la humanidad ha mandado material al espacio interestelar, la hipotética abundancia que he planteado parecería ilógica, en efecto.

Este escenario parece un poco menos ilógico si comparamos esta posibilidad con el posible ritmo al que se calcula que podríamos lanzar StarChips con la Iniciativa Starshot que mis colegas y yo propusimos a Yuri Milner. Según nuestras estimaciones, una vez hechas las inversiones para fabricar un láser con una potencia adecuada, y una vez lanzado al espacio, los costes relativos de enviar muchos miles —y hasta millones— de StarChips al espacio interestelar caerían exponencialmente.

Pero la abundancia de naves interestelares en la hipótesis que acabo de describir parecerá más razonable, tal vez, si retomamos nuestro ejemplo de la botella de plástico.

. . .

Ahora mismo, la Red de Vigilancia Espacial de los Estados Unidos controla más de trece mil objetos artificiales en la órbita de la Tierra: desde la Estación Espacial Internacional a satélites inoperativos; desde telescopios orbitales como el Hubble a etapas sobrantes del lanzamiento de cohetes, pasando por tornillos y

tuercas perdidos por los astronautas. También se incluyen unos dos mil quinientos satélites que hemos tardado cincuenta años en enviar al espacio.

De hecho, durante esta breve ventana de tiempo nuestros esfuerzos por mandar material al plano orbital del planeta han sido suficientes para convertir la chatarra espacial en un problema inminente. Por ejemplo, en 2009 dos satélites chocaron a 35.800 kilómetros por hora encima de Siberia: el satélite inactivo ruso Cosmos 2251 y el satélite activo norteamericano Iridium 33. El resultado fue una nube instantánea de escombros que aumentó el riesgo de más colisiones. Fue la primera colisión detectada entre satélites y resalta el riesgo de que aumente la cantidad de chatarra en la órbita terrestre.

La amenaza de la colisión se ha ido incrementando constantemente durante años, en parte porque cada vez hay más países que ven el espacio como un nuevo campo de batalla. Hace más de una década, China hizo alarde de su tecnología de misiles antisatélite destruyendo su propio satélite meteorológico Fengyun-1C. India logró un hito similar en 2019, con lo que generó otros cuatrocientos fragmentos de chatarra espacial, más o menos. ¿La consecuencia? Se calculó que el riesgo de impacto contra la Estación Espacial Internacional había crecido un 44 % en diez días. Suerte que la estación está diseñada para esquivar los peligros, siempre y cuando se la avise con suficiente antelación.

Lo que hacen los humanos nos ayuda a predecir lo que seguramente hagan otras civilizaciones. Seguimos siendo nuestra mejor fuente de datos para imaginar el comportamiento de otras civilizaciones y las consecuencias del mismo. Con eso en mente, pensad que una simulación informática de los próximos doscientos años predice que vamos a multiplicar por 1,5 la cantidad de objetos de chatarra espacial de más de veinte centímetros. Y la chatarra de pequeño tamaño aumentará todavía más. La simulación predice que el número de objetos de menos de diez centímetros se multiplicará por entre trece y veinte.

Tristemente, esta forma de arrojar basura al espacio es un reflejo de cómo trata la humanidad su hábitat terrestre. En 2018 el

Banco Mundial emitió un informe[1]titulado «Los desechos 2.0», en el que estimó que el mundo generaba 2.010 millones de toneladas de desechos sólidos al año. El Banco Mundial también pronosticó que en 2050 esa cifra podía escalar hasta los 3.400 millones de toneladas. En 2017 la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos calculó que un norteamericano medio generaba 2,04 kilogramos de desechos sólidos al día, cuando Estados Unidos no es ni de lejos el mayor productor del mundo. Si bien los Estados Unidos y China son los que más gases de efecto invernadero emiten, son los países con menos ingresos los que generan más desechos sólidos, debido a su incapacidad económica para gestionarlos como es debido.

Como es lógico, desde el punto de vista de la propia Tierra, los orígenes de los desechos sólidos del mundo no importan. Buena parte de ellos acaban igualmente en los océanos.

Uno de los sectores en el que más están aumentando los desechos es la chatarra electrónica: portátiles, móviles y electrodomésticos que se tiran y se sustituyen por modelos más nuevos. En 2017 el Global E-Waste Monitor de Naciones Unidas estimó que, el año anterior, el mundo había generado 44,7 millones de toneladas de desechos electrónicos. Y contó con que, en 2021, esa cifra se alzaría hasta los 52,2 millones de toneladas.

Estos actos de nuestra propia civilización nos vuelven a ofrecer pruebas evidentes de lo que cabe considerar al valorar los orígenes de Oumuamua. Si Oumuamua no era una sonda en funcionamiento ni una boya inerte, sino tecnología inoperativa o incluso desechada por otra civilización, se deduce que esa otra civilización actuó de una manera con la que nos podemos identificar plenamente; que, como la nuestra, no escatimaba recursos en producir materiales —tecnológicos y de otras clases— y que, como la nuestra, no tenía reparo en abandonarlos cuando devenían obsoletos. Solo porque nosotros no hayamos llegado al nivel de madurez de desechar materiales al espacio interestelar, no deberíamos descartar la posibilidad de que nuestros vecinos interestelares pudieran haberlo hecho (o, con mayor probabilidad, lo hicieran).

Los desperdicios, tanto en la forma de desechos sólidos como en la forma de gases de efecto invernadero, son una analogía útil por otra razón: parecen dar una respuesta a la pregunta de cómo pudo Oumuamua terminar vagando por el universo como chatarra espacial. Porque una de las ideas clave propuestas por físicos pioneros en este campo —hombres como Frank Drake, cuya famosa ecuación cuantifica nuestras posibilidades de detectar una señal de luz de una civilización avanzada en el espacio— es que la mayoría de las civilizaciones tecnológicas que han existido podrían haberse extinguido.

. . .

Enrico Fermi fue uno de los grandes físicos del siglo XX. Entre sus hazañas está el primer reactor nuclear y, como fue clave en el Proyecto Manhattan y en la producción de la primera bomba nuclear, puede atribuirse parte del mérito de haber puesto fin rápidamente a las hostilidades con Japón en las postrimerías de la Segunda Guerra Mundial.

Hacia el final de su insigne carrera, mientras almorzaba con sus compañeros, Fermi planteó una pregunta simple y provocativa: ¿cómo explicamos la paradoja de que, con lo enorme que es el universo, la probabilidad de que haya vida extraterrestre parezca alta y, aun así, no tengamos pruebas certeras de que haya vida más allá de la Tierra? Si la vida es habitual en el universo, preguntó, «¿dónde está todo el mundo?».

Con los años se han ofrecido muchas respuestas. Una de ellas es especialmente llamativa y pertinente para el misterio planteado por Oumuamua y sus implicaciones para nosotros.

En 1998 el economista Robin Hanson publicó un ensayo titulado *The Great Filter – Are We Almost Past It?* [El gran filtro: ¿estamos cerca de superarlo?]. Según Hanson, tal vez la respuesta a la paradoja de Fermi fuera que el propio progreso tecnológico de una civilización predice de forma arrolladora su destrucción. El momento en que una civilización alcanza nuestro estadio de progreso tecnológico —el periodo en que puede transmitir su

existencia al resto del universo y empezar a enviar naves a las otras estrellas— es también el instante en que su madurez tecnológica es suficiente para autodestruirse, tanto si es por vía del cambio climático, como de una guerra nuclear, biológica o química.

El ejercicio mental de Hanson es bastante plausible, así que la humanidad haría bien en valorar la pregunta que formula el título de su artículo: ¿se está acercando la civilización humana a su propio filtro?

Resultaría curioso que Fermi fuera la solución a su propia paradoja, puesto que fue con su ayuda con la que inventamos las armas nucleares hace siete décadas. Pero incluso sin armas nucleares, llevamos camino de autodestruirnos cambiando de forma permanente el clima. El aumento de la resistencia a los antibióticos debido a muchos factores —entre los que sin duda destaca el uso generalmente indiscriminado de ellos en la agricultura y la ganadería industrial— también entraña una amenaza. A eso hay que sumarle las pandemias, aceleradas y exacerbadas por nuestra ofensiva industrial contra el ecosistema planetario.

Es bastante probable que, si no nos andamos con ojo, los próximos siglos de nuestra civilización sean los últimos. Si este fuera el caso, las emisiones que hemos estado enviando al universo desde nuestras radios y televisiones —esa pompa de sonido que se expande hacia el exterior y que la humanidad no empezó a generar hasta hace apenas un siglo— y las cinco naves interestelares que ya hemos lanzado serían el equivalente a los huesos de dinosaurio aquí en la Tierra: vestigios de algo formidable y extraordinario en su día, pero que ahora solo sirve como material para los arqueólogos de otras civilizaciones.

No hace falta que nos remontemos mucho para saber cómo podría funcionar el gran filtro. El pequeño filtro de nuestra propia mortalidad y el contexto de la historia reciente arrojan bastante luz.

La familia de mi padre estuvo asentada en Alemania durante siete siglos. Mi abuelo Albert Loeb luchó con arrojo en la Primera Guerra Mundial y sobrevivió a la batalla de Verdún de 1916. Según

nuestros cálculos, esa única batalla, la más larga de la guerra, costó la vida a 143.000 soldados alemanes y a 337.000 personas en total. El personal militar fallecido y herido en la guerra oscila entre los quince y los diecinueve millones, y, sumando las muertes de civiles, esa cifra sube hasta unos cuarenta millones.

Mi abuelo destacó como miembro de la caballería durante esa contienda y fue galardonado con una medalla que, al cabo de una década o así, valía muy poco. En una asamblea municipal de 1933, en el distrito de Netze-Waldeck, donde vivía la familia de mi abuelo, un miembro del partido nazi declamó a grito pelado que los judíos del país estaban exprimiendo los recursos de Alemania. Mi abuelo se levantó y le plantó cara:

—¿Cómo te atreves a pronunciar esas palabras cuando tú te saltaste el reclutamiento de la Gran Guerra por ser comunista mientras yo estaba en el frente alemán?

—Todos conocemos sus contribuciones a la patria, señor Loeb; estaba hablando de los otros judíos —contestó el orador.

Pero el auge del vil antisemitismo en Alemania —y en buena parte de Europa, todo sea dicho— era palpable.

Fue tras ese intercambio público que mi abuelo decidió irse de Alemania. Tiró la medalla y en 1936 emigró a Palestina, entonces controlada por los británicos y actualmente el Estado de Israel. Otras ramas de la familia se quedaron en Alemania, pensando que podrían aguardar a ver qué pasaba, aferrándose a la creencia de que se les permitiría irse con los últimos trenes que partían de Alemania. Por desgracia, por entonces esos trenes ya iban a otro sitio; los sesenta y cinco miembros de nuestra familia murieron en el Holocausto.

Todavía guardo el reloj de bolsillo de Albert de hace un siglo, como recuerdo de su coraje e integridad. Lleva las mismas iniciales que yo, cosa que también es una especie de recordatorio. La cadena causal que nos trajo hasta aquí es muy frágil.

. . .

El misterio de Oumuamua surgió poco después de la muerte

de mi padre, en enero de 2017, y fue revelando sus secretos a medida que la salud de mi madre se iba deteriorando. Le diagnosticaron cáncer en el verano de 2018 y murió en enero de 2019.

Dimos sepultura a mi padre, David, en la misma tierra bermeja en la que plantó árboles durante toda su vida, al lado de los campos que regaba religiosamente, cerca de la casa que construyó con sus ásperas manos y en la que yo crecí, rodeado de las personas que amó y que le amaron, bajo el cielo azul que yo estudio como astrónomo. Y a mi madre Sara, que me enseñó el camino para pensar como un filósofo, con la que hablaba cada día desde que llegué a la edad adulta, y que me dispensó sobre todo el regalo de la intelectualidad, la enterramos a su lado dos años después.

En astronomía, vemos a la materia adoptar formas nuevas a lo largo del tiempo. La materia que nos compone se generó en el núcleo de una estrella masiva cercana que estalló. Se aglutinó para formar la Tierra y esta nutre las plantas que alimentan nuestros cuerpos. ¿Qué somos, pues, sino formas efímeras que adoptan pequeñas motas de material durante un breve instante de la historia cósmica en la superficie de un planeta de los muchos que existen? Somos insignificantes no solo porque el cosmos es inmenso, sino porque nosotros mismos somos muy pequeños. Cada uno de nosotros no es más que una estructura pasajera que viene y va, y que se queda grabada en la mente de otras estructuras pasajeras. Y ya está.

La muerte de mis padres me hizo ver esta y otras verdades fundamentales sobre la vida. Estamos aquí por un corto espacio de tiempo y, por tanto, no sirve de nada fingir. Seamos honestos, auténticos y ambiciosos. Que nuestras limitaciones —incluyendo, sobre todo, el tiempo limitado que se nos da a cada uno— den alas a la humildad. Y permitamos al pequeño filtro, encarnado en el límite de nuestras propias vidas, darnos un contexto accesible y aleccionador sobre el gran filtro de Hanson, que simboliza el fin de nuestra civilización. Con negligencia, diligencia y gran inteligencia, los humanos han demostrado estar muy cómodos

acabando con la vida de otros humanos.

De todas las lecciones que podemos extraer de Oumuamua, la más crucial podría ser esta: no podemos permitir que los filtros minúsculos de la guerra y la degradación ambiental se agranden hasta convertirse en un filtro mayor. Tenemos que ejercer más cuidado, diligencia e inteligencia para preservar nuestra civilización. Solo así podemos salvarnos.

Durante los años en que hice el servicio militar, en la instrucción de infantería nos enseñaron una cosa: «A echarnos encima del alambre de espino». A veces, en circunstancias excepcionales, un soldado tiene que tirarse a propósito encima del alambre de espino para que los otros soldados puedan usar su cuerpo para cruzar sin peligro. No soy tan arrogante como para comparar mi experiencia con un sacrificio así de un soldado. Pero, teniendo presente el espectro del gran filtro, y teniendo siempre presentes las sombras de aquellos que nos han precedido y que se han sacrificado para impulsar la causa común de la humanidad, la imagen me parece una buena fuente de inspiración.

De esto sí estoy convencido: la civilización humana en la Tierra tal como existe hoy y la promesa de la posible civilización humana interestelar del mañana están conectadas por unos finos hilos que no aguantarán si somos cautelosos y conservadores. Recuperando las palabras de Rebbe Nachman de Breslov, «el mundo entero no es más que un puente muy estrecho; la clave está en no tener ningún miedo».

. . .

El 1 de septiembre de 1939, tres años después de que mi abuelo presintiera lo que iba a ocurrir y se fuera, Alemania invadió Polonia y gran parte de nuestro planeta se vio sumido en la guerra. Pasaron otros ocho meses hasta que Winston Churchill asumió el cargo de primer ministro del Reino Unido. Entretanto, Churchill se dedicó a alertar por activa y por pasiva a su país y al mundo entero de la amenaza que suponían Adolf Hitler y una Alemania militarizada.

Sin embargo, también tuvo tiempo para uno de sus entretenimientos preferidos: la escritura. Esa década escribió, entre otras cosas, una biografía en cuatro volúmenes del primer duque de Marlborough y una ristra de editoriales y artículos de opinión para periódicos y revistas. Uno de los temas que le interesaban era la ciencia (Churchill fue el primer mandatario británico en nombrar a un civil como asesor científico del Gobierno) y sus artículos de divulgación científica versaban sobre todo: desde la evolución a la energía de la fusión, pasando por los alienígenas.

En 1939, mientras el mundo se desmoronaba a su alrededor, Churchill escribió un artículo titulado «Are We Alone in Space?» [¿Estamos solos en el espacio?]. Nunca lo publicó; la concatenación de sucesos que le catapultaron hasta el punto álgido de su influencia política también le hizo aparcar este ensayo y enterrarlo durante décadas. No fue hasta después de haber luchado y ganado la guerra que Churchill, nuevamente fuera de la política activa del Reino Unido, rescató su artículo. En los cincuenta le dio un título más preciso: «¿Estamos solos en el universo?», pero siguió sin publicarlo. Cuando Churchill murió, el texto se introdujo en los archivos del National Churchill Museum de los Estados Unidos, sin que nadie le prestara atención ni lo comentara hasta su descubrimiento en 2016.

Es una pena que el peculiar ensayo de Churchill no se publicara nunca, porque plantea ideas muy adelantadas a su tiempo y destila una imparcialidad que entonces se necesitaba como agua de mayo, igual que ahora. Churchill dio muestras de la modestia de un generalista planteándose cómo de únicos podían ser el Sol y nuestro sistema planetario: «No soy suficientemente vanidoso para creer que mi Sol es el único con una familia de planetas».[2]También era astuto. Décadas antes de descubrirse los exoplanetas, Churchill concluyó que era lógico pensar que un gran número de planetas estaban «a la distancia correcta de su astro para mantener una temperatura adecuada», tenían agua y atmósfera y, por tanto, podían albergar vida. En realidad, a la vista de la envergadura del espacio y del número de soles que hay en su interior, escribió, «es sumamente probable que una inmensa

cantidad de ellos posean planetas cuyas circunstancias no imposibilitaran el desarrollo de vida». Y aunque fuera escéptico con respecto a los viajes interestelares, Churchill admitió: «En un futuro no muy lejano, tal vez se pueda viajar a la Luna, o incluso a Venus o Marte».

El contrapunto lúgubre del artículo no se reservaba para la posibilidad de que hubiera vida extraterrestre en el universo, ni para la capacidad de la humanidad para llegar a otros planetas, sino para la propia humanidad. «Por lo que a mí respecta, no estoy tan asombrado con lo bien que se nos está dando en nuestra propia civilización», escribió, «para abrigar la creencia de que seamos el único punto en este ingente universo con criaturas que viven y piensan, como tampoco creo que representemos la forma definitiva de desarrollo mental y físico que ha aparecido jamás en la inmensidad del espacio y el tiempo».

La primera vez que oí hablar del ensayo de Churchill, hace unos años, me sentí impelido a hacer un pequeño experimento mental. Según las estimaciones, la guerra pandémica que estalló poco después de que Churchill escribiera su ensayo tuvo un coste aproximado de 1,3 billones de dólares, el equivalente a unos 18 billones actuales. No hay registros fiables para calcular con exactitud el número de personas que murieron a causa de la guerra y los expertos aún discuten sobre qué muertes son claramente atribuibles a la contienda en sí, pero se calcula que fallecieron entre cuarenta y cien millones de personas.

¿Y si en los cuarenta la humanidad hubiera gastado 1,3 billones de dólares —por no hablar de la destreza, la experiencia, la mano de obra y la mente de entre cuarenta y cien millones de personas— en explorar el universo? ¿Y si el talento colectivo de la época no se hubiera entregado a la destrucción, a proyectos que alcanzaron su máximo esplendor con el desarrollo de las armas nucleares, sino a enviar vida terrestre al sistema solar y, luego, a la inmensidad ulterior? ¿Y si la civilización humana, en una muestra de humildad y de aplicación del método científico, hubiera llegado a la conclusión de que su propia existencia convertía en probable la existencia de otras civilizaciones en el universo? ¿Y si en 1939, y

en el transcurso de la siguiente década, la humanidad se hubiera dedicado a explorar el espacio y a descubrir vida extraterrestre, en vez de exterminar la vida de la Tierra?

Si existe un multiverso y en él hay una versión como esta de la civilización humana, imagino que al menos conseguiría fotografiar a Oumuamua, quizás incluso capturarlo para examinarlo al detalle. Tal vez esos humanos ni siquiera se habrían quedado perplejos por su descubrimiento, dado que, en su versión de la Tierra, la Iniciativa Breakthrough habría empezado décadas antes y, en consecuencia, ya habría recibido la información recopilada por las velas solares propulsadas con láser al pasar junto a Próxima Centauri. Sin duda ya llevarían un tiempo estudiando una solución para garantizar la preservación de la vida tras la inevitable muerte de nuestro Sol. Y también sospecho que sus playas no estarían tan llenas de basura.

Estoy seguro de que hay al menos una similitud entre esa Tierra y esta. Apuesto a que sus historiadores se refieren a la generación clave —la que en los cuarenta lo puso todo en marcha — como la más importante para ellos.

Pero no. Vivimos en esta Tierra y tenemos la obligación colectiva de preservar nuestra civilización humana. Entre todos los experimentos mentales que nos facilitan los teóricos del multiverso, creo que el más eficaz es este: ¿qué haremos como residentes del único universo que tenemos ante nosotros?

Escribo esto mientras observo el árbol que se ve desde la ventana de mi sala de estar. ¿Somos una civilización que va a atar la extremidad dañada, permitiéndola sanar y crecer? ¿O somos una civilización que la va a ignorar o cortar, con lo que segará definitivamente esa posibilidad?

Elijamos lo que elijamos, estamos jugando con la vida de los hijos de nuestros hijos. Si al ver los extravagantes atributos de Oumuamua solo podemos sopesar hipótesis naturales, pero estadísticamente impensables —si no podemos barajar, como haría Sherlock Holmes, la explicación más simple que queda para los datos recogidos—, tal vez hagamos algo peor que solamente demorar el siguiente avance de nuestra civilización. Tal vez nos

precipitemos al abismo, como una civilización más de muchas, tal vez ni siquiera lo bastante avanzada como para haber dejado balizas por el universo a modo de tarjetas de visita.

10

Astroarqueología

Si concluimos que las civilizaciones nacen y desaparecen en un abrir y cerrar de ojos, tal vez por turnos, a lo largo de la extensísima historia del universo, sería un aviso sombrío para nuestra propia civilización.

Pero también sería una oportunidad.

Como científicos y como especie, podríamos adaptar nuestra labor detectivesca y buscar los vestigios de civilizaciones extintas. Un mero descubrimiento indirecto de esos indicios nos podría enseñar una importante lección: a saber, que tenemos que empezar a organizarnos para evitar un destino similar.

Como he mencionado, este podría ser el profundo mensaje de Oumuamua en una botella, un mensaje que nos empeñamos en no leer. Para interpretarlo totalmente, pienso que tendremos que dejar de ver la astronomía solo como el estudio de las cosas del espacio y empezar a tratarla como una disciplina investigadora e interdisciplinar.

Necesitamos urgentemente una nueva rama de la astronomía, que yo he llamado «arqueología espacial». Igual que los arqueólogos que cavan para averiguar cosas sobre la sociedad maya, por ejemplo, los astrónomos tienen que empezar a buscar civilizaciones tecnológicas excavando en el espacio.

Es fascinante elucubrar lo que podrían encontrar estos astroarqueólogos, pero esa no es ni siquiera la razón de mayor peso para tomarse en serio esta investigación. Lo cierto es que nos podría dar perfectamente ideas que nos induzcan a seguir nuevas sendas científicas y culturales, y que quizás conviertan a nuestra

civilización en una de esas pocas que consiguen traspasar el gran filtro.

. . .

Acordaos de que una de las mayores limitaciones de la ecuación de Drake —la fórmula pensada para ayudar a subsumir los debates sobre vida extraterrestre inteligente— era su hincapié obsesivo con las señales de comunicaciones, que solo son unas de las trazas detectables que podrían dejar tras de sí otras civilizaciones. Frank Drake definió la primera variable de su ecuación, *N,* como la cantidad de especies en nuestra galaxia con la tecnología necesaria para entablar una comunicación interestelar; definió la última variable de la ecuación, *L,* como el tiempo durante el cual esas especies pueden producir señales detectables. En resumen, su ecuación tenía una limitación: la suposición de que los intentos deliberados por comunicarse son la única forma en que podrían detectarse civilizaciones extraterrestres.

No obstante, existen muchas maneras mediante las que las civilizaciones alienígenas podrían transmitir sin querer su existencia y, a medida que descubrimos nuevas tecnologías, aumenta el número de nuevas vías por las que buscar esos indicios. ¿Cómo deberíamos redefinir los parámetros de nuestra búsqueda? Dicho de otra forma: ¿qué deberíamos buscar? ¿Y dónde deberíamos buscarlo?

En mi opinión, la primera de estas preguntas es relativamente fácil de contestar. Sabemos que todas las formas de vida se pueden identificar por lo que llamamos biofirmas: por ejemplo, proliferaciones de algas y atmósferas contaminadas que los seres vivos dejan en su medio ambiente. Así que, además de buscar rastros de vida extraterrestre tecnológicamente avanzada, podemos buscar señales de vida alienígena menos avanzada, como los microbios, tanto si están vivos como si llevan mucho tiempo muertos.

Así, la primera pregunta conduce a otra más concreta: ¿qué clase de vida deberíamos buscar, avanzada o primitiva? En un

artículo que escribí con mi investigador de posdoctorado Manasvi Lingam, calculamos qué teníamos más posibilidades de encontrar, si vida extraterrestre primitiva, o inteligente, usando solo telescopios de última generación (en ese momento, eso englobaba el Telescopio Espacial James Webb, el sucesor del Telescopio Espacial Hubble). En el fondo, era un afán por determinar qué parte de la labor de los astroarqueólogos debería consagrarse a buscar biofirmas, y qué parte, a buscar tecnofirmas. Este ejercicio me ayudó a perfilar mi respuesta a la pregunta planteada arriba: ¿qué deberíamos buscar?

Este proyecto nos forzó a discurrir por una serie de variables sumamente inciertas, y varias exigían respuestas sin reflexión. Por ejemplo, teníamos que determinar cómo de rara era la vida inteligente en comparación con la vida microbiana, cuánto mayor era la distancia desde la que podíamos detectar una tecnofirma en comparación con una biofirma, o el tiempo durante el cual ambos tipos de firmas se podrían descubrir. Nuestra selección de variables también reflejaba nuestra inquietud por el gran filtro, aunque fuimos optimistas con el plazo durante el que podría sobrevivir una inteligencia extraterrestre tecnológica: lo fijamos en un milenio.

En mi experiencia, el optimismo es una condición previa de la labor científica, pero, en este caso, el optimismo también informaba nuestros cálculos. En varios sentidos, cuanto más pesimistas seáis, menores son las perspectivas de encontrar vida inteligente. Tened en cuenta también que, en el escenario que acabo de describir, teníamos que aventurarnos a estipular el tiempo durante el que esa vida inteligente podría ser descubierta, así como otra variable relacionada: el periodo durante el cual existiría nuestra inteligencia para buscarla.

Dicho esto, hay que admitir que descubrir vida primitiva o microbiana no sería lo mismo que descubrir vida extraterrestre inteligente. Ambos descubrimientos alterarían intrínsecamente la imagen que la humanidad tiene de sí misma, pero los indicios de la civilización tecnológica inteligente harían más mella. Saber que existen o nos han precedido otras civilizaciones inteligentes, tal vez más avanzadas, nos obligaría a adoptar una actitud más humilde

con el universo y nuestros logros.

Al final, concluimos que la probabilidad de detectar vida inteligente era aproximadamente cien veces menor que la probabilidad de detectar vida primitiva. Con todo, concluimos que teníamos que llevar a término ambas búsquedas al mismo tiempo, aunque dedicáramos bastantes más recursos a buscar vida primitiva porque esperábamos que fuera más común. Además, la existencia de vida inteligente también dispararía por las nubes las perspectivas de encontrar vida microbiana.

Así pues, ¿qué deberíamos buscar? En una palabra: vida. Simplemente tendríamos que esperar encontrar antes de un tipo que del otro.

Entonces, ¿dónde deberíamos buscar? Responder a esta pregunta es más delicado y complicado, pero, al final, tal vez sea más familiar y cómodo. El motivo es que nos obliga a empezar por la abiogénesis terrestre: el origen de la vida en nuestro planeta.

. . .

La disciplina que investiga los orígenes de la vida todavía es joven. Aunque sabemos mucho sobre un aspecto, la abiogénesis terrestre, nuestro saber es un islote en un océano gigantesco de ignorancia. Sin embargo, hay motivos para ser moderadamente optimistas respecto al futuro.

Ahora mismo estamos mucho más cerca de entender cómo las primeras células, los cimientos de la vida, adquirieron funciones de replicación y metabolismo; y estamos mucho más cerca de poder explicar cómo los precursores de las biomoléculas, como son las proteínas y los carbohidratos, se sintetizaron y ensamblaron partiendo de un lugar común. Y aunque no sabemos si la vida extraterrestre se basaría en los mismos principios que dieron lugar a la vida en la Tierra, cada vez estamos más preparados para reflexionar sobre la frecuencia de la abiogénesis en otros parajes, pues cada vez estamos más cerca de entender cómo surgió aquí la vida.

Al buscar vida extraterrestre, no hay pregunta más crucial que

esta: ¿la vida es ampliamente determinista y bastante probable, o es fruto de sucesos aleatorios e improbables? En otras palabras, ¿las mismas condiciones básicas desembocan siempre en la aparición de vida, o el surgimiento de vida en la Tierra fue una anomalía que es muy improbable que vuelva a darse?

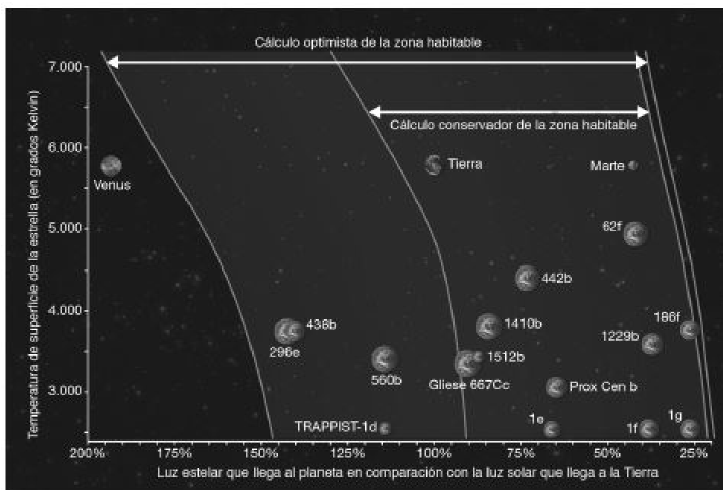
Hay muchos ámbitos de estudio que trabajan en estas cuestiones desde todos los frentes, pero todos suelen destacar una simple observación: la única fuente de datos significativa de la que disponemos —la Tierra— es increíblemente rica. Los factores que permitieron que surgiera vida en la Tierra, entre los que destaca la distancia entre nuestro planeta y el Sol, no resultaron tan solo en unos pocos microorganismos arrimados a los respiraderos hidrotermales del fondo de los océanos. Crearon una exuberancia de vida tan compleja que, en la actualidad, nuestra flora y fauna descansan sobre los restos de toda una antigua era de reptiles. Pensar que esta abundancia de vida sería patrimonio exclusivo de una canica azul en medio de la inmensidad del universo parece el *summum* de la *hibris*.

Casi toda la vida en la Tierra depende del Sol. No es casual que los humanos lo hayamos adorado desde los albores de nuestra civilización hasta la última vez que nos pasamos una hora tumbados sobre una toalla en la playa. Venimos literalmente de las estrellas; la materia de la que estamos hechos se generó en el corazón de una estrella que estalló, que formó planetas como la Tierra y que luego se convirtió en el material de toda la vida terrestre, incluyéndonos a ti y a mí. Y sin la calidez y la luz del Sol, no habría plantas, no habría oxígeno en abundancia ni la vida tal como la conocemos.

No es exagerado decir que la mayor parte de la vida multicelular compleja de la Tierra depende directa o indirectamente de la existencia del Sol. ¿Pero cómo afecta este hecho a la búsqueda de vida extraterrestre? ¿Cómo deberíamos usar la certeza de que el Sol sustenta vida consciente e intelectual para moldear nuestra búsqueda de vida en otros sitios?

Sabiendo si nuestro Sol es anómalo o no, sabríamos muchas cosas sobre lo anómala (o poco anómala) que es la vida que

sustenta. Si el Sol es una estrella madre típica en todos los aspectos y la presencia de vida inteligente en su cercanía es excepcionalmente rara, por no decir única, entonces es muy probable que nuestra existencia sea fruto de la casualidad y que sea, en efecto, rara. Pero si el Sol es atípico en algunos aspectos, tal vez estas características poco corrientes sean necesarias para la vida, con lo que nuestra existencia sería menos fortuita y única. Esto, a su vez, provocaría que nuestra búsqueda de vida inteligente fuera menos aleatoria, pues tendríamos razones para analizar estrellas como la nuestra.



Franja de zona habitable alrededor de estrellas con diferentes temperaturas de superficie (eje vertical). Se incluyen desde las estrellas enanas más abundantes, como Próxima Centauri, hasta las raras estrellas gigantes, como Eta Carinae. El eje horizontal muestra el flujo de luz que llega a la superficie de los planetas en comparación con la luz solar que llega a la Tierra. En el diagrama se muestran varios planetas conocidos. El exoplaneta habitable más cercano fuera del sistema solar, Próxima b, aparece cerca de la esquina inferior derecha. Mapping Specialists, Ltd.

Da la casualidad de que el sistema que forman el Sol y la Tierra es anómalo en dos aspectos. Primero, la masa del Sol —330.000 veces la de la Tierra— hace que sea más masivo que el 95 % de todas las estrellas conocidas. Y aunque esto no debería impedirnos buscar vida en planetas que orbiten en torno a estrellas estadísticamente más normales, como tenemos recursos limitados de tiempo y dinero, nos alienta a buscar estrellas que sean especialmente masivas, como la que nos sustenta.

. . .

Las cualidades del Sol nos instan a dirigir nuestra búsqueda de vida extraterrestre —al menos inicialmente— a estrellas parecidas a la nuestra. Las cualidades de la Tierra también condicionan nuestra búsqueda, sobre todo en lo que respecta a escoger qué planetas estudiar en primer lugar.

Los datos observables de la Tierra, el único planeta que sabemos que tiene una biosfera densa y compleja, nos permiten elaborar una breve lista de atributos que deberíamos buscar en otros planetas. Pero entre todos los parámetros esenciales para la habitabilidad de la Tierra, sobresale la presencia de agua líquida.

El agua líquida, a menudo llamada disolvente universal, es ideal para insuflar energía a las células y retirar los desechos. No se ha descubierto ningún ser vivo en el planeta capaz de existir sin ella. De hecho, es tan importante para la vida que los astrónomos la usan para definir la zona habitable alrededor de cada estrella, medida por la distancia entre la órbita de un planeta y el centro del sistema solar. Identificar planetas a la distancia «Ricitos de Oro» de una estrella, esa zona en la que el agua no se congela ni se evapora, es el punto de partida del astroarqueólogo para buscar civilizaciones alienígenas.

El caso es que en el universo hay muchos sitios donde buscar.

En las últimas dos décadas hemos sabido que el universo contiene muchos exoplanetas (el término técnico para cualquier planeta fuera del sistema solar). Esta avalancha de descubrimientos empezó en 1995, cuando los astrónomos Michel Mayor y Didier

Queloz encontraron por primera vez pruebas definitivas de un exoplaneta —un planeta tipo júpiter caliente, 51 Pegasi b, que orbitaba muy cerca de una estrella análoga solar— observando el movimiento del astro por la línea de visión mientras el exoplaneta orbitaba a su alrededor. Su pionero trabajo marcó el comienzo de la era consagrada a la búsqueda de exoplanetas y les valió el Premio Nobel en 2019.

Lo cierto es que los principios básicos de esta investigación no eran nuevos; los había ideado cuatro décadas antes el astrónomo Otto Struve, que propuso centrar la búsqueda de planetas alienígenas en los gigantes gaseosos que zumbaban en torno a sus estrellas madre en órbitas minúsculas, pequeños mundos que giraban alrededor de sus estrellas en unos pocos días terrestres. Según argumentó Struve en un artículo de 1952, la existencia de estos planetas se podía deducir de la evidencia de que algunas estrellas binarias (un par de astros en el centro de un solo sistema estelar) rotan alrededor de un centro de masas común de forma similar. Y estos grandes exoplanetas deberían ser relativamente fáciles de detectar por su potente atracción gravitatoria sobre su estrella madre, o por el bloqueo de la luz durante los tránsitos por la superficie visible del astro.

Pero el artículo de Struve cayó en saco roto, al igual que su propuesta de buscar jupíteres próximos a su estrella. Según los expertos de los comités que decidían sobre la distribución de tiempos de observación con los grandes telescopios, era *vox populi* por qué Júpiter está tan lejos del Sol. No vieron ninguna razón para desperdiciar tiempos de observación buscando jupíteres fuera del sistema solar mucho más cercanos a su estrella madre. Su prejuicio ralentizó el progreso científico unas cuantas décadas.

Una vez que los exoplanetas pasaron a formar parte del credo científico, su descubrimiento se aceleró a marchas forzadas. En la década posterior al descubrimiento de 51 Pegasi b, se hallaron cientos de exoplanetas más. Y con el lanzamiento en 2009 del Telescopio Espacial Kepler, construido por la NASA con el propósito explícito de identificar exoplanetas, esa cifra ha aumentado ya hasta los 2.350, y otros 2.420 candidatos están

esperando la confirmación. Por si fuera poco, ahora sabemos que más o menos una de cada cuatro estrellas tiene en órbita planetas con el tamaño y la temperatura en superficie de la Tierra, planetas que podrían albergar agua líquida —y las bases de la química de la vida— en su superficie.

La plétora de exoplanetas hacia los que podríamos apuntar con nuestros equipos de observación me recuerda a una habitual tradición judía durante el Séder de Pésaj: cuando se oculta una parte del *matzá,* llamada *afikomán*. Los niños de la casa lo tienen que encontrar, y el que lo consigue recibe un premio.

Lo que aprendí de niño —y lo que tengo en cuenta ahora como adulto en el incipiente campo de la astroarqueología— es que la pregunta «¿dónde buscamos?» es mejor que la pregunta «¿qué estamos buscando exactamente?». Y mis hermanas y yo aprendimos enseguida que los mejores sitios para empezar a buscar el *afikomán* eran aquellos donde se había escondido antes.

Hoy, esta misma estrategia es la que rige la búsqueda de vida extraterrestre. La mayoría de nuestros telescopios e instrumentos de observación están buscando rastros de vida en planetas rocosos con características —la más crucial de las cuales es el agua líquida — que concuerdan con las del único sitio donde sabemos que existe vida: la Tierra.

¿Pero esto es lo único que podemos hacer? ¿Deberíamos buscar en alguna otra parte, aunque nos ciñéramos a las órbitas de estrellas alienígenas?

. . .

Los exoplanetas similares a la Tierra no son el único sitio donde podríamos buscar vida. Según otra investigación que hice con mi colaborador de posdoctorado Manasvi Lingam, parece que existe otro lugar muy prometedor en el que buscar la química de la vida: en la atmósfera de las llamadas enanas marrones.

Las enanas marrones son pequeñas y tienen menos del 7 % de la masa de nuestro Sol. Como no poseen suficiente masa para mantener las reacciones nucleares que permiten a otras estrellas

brillar (y arder) tanto, se pueden enfriar hasta alcanzar temperaturas planetarias. Esto significa que podría haber agua líquida en la superficie de pequeñas partículas sólidas en las nubes que orbitan en torno a una enana marrón.

Y no tenemos por qué detenernos en las enanas marrones. También deberíamos valorar la opción de estudiar las enanas verdes, estrellas enanas que muestran el revelador «borde rojo» en la luz reflejada, el indicio de plantas en fotosíntesis. Según nuestros cálculos, las enanas verdes que orbitan en torno a análogos solares podrían ser nuestra mejor apuesta para hallar el *afikomán* astrobiológico.

Las enanas verdes, las marrones y los exoplanetas en la zona habitable de los soles… Estas opciones no son ni por asomo las únicas que pueden barajar los astroarqueólogos, en especial cuando postulamos civilizaciones con tecnología mucho más avanzada que la nuestra. Pero en esta fase de la búsqueda de vida extraterrestre, cuando nuestras teorías, nuestros utensilios de observación y nuestra actividad de exploración están dando sus primeros pasos, estos son los mejores objetivos. Fuera de nuestro sistema solar, claro está.

. . .

Pero, aunque estemos valorando la búsqueda de vida en el espacio interestelar, hay que señalar que aún no hemos agotado las opciones dentro de nuestro propio sistema solar; los astroarqueólogos también tendrían que buscar rastros de vida extraterrestre en el patio trasero de nuestro planeta.

Podríamos empezar buscando equipamiento tecnológico que esté flotando por el sistema solar. Así como avistamos a Oumuamua, podríamos descubrir —y obtener pruebas concluyentes de— otros objetos artificiales con origen en otras estrellas. En el primer siglo de nuestra propia revolución tecnológica, enviamos el Voyager 1 y el 2 fuera del sistema solar. ¿Quién sabe cuántos objetos como estos podría haber lanzado una civilización avanzada?

La manera más simple de detectar el paso de tecnología alienígena es buscar bajo el foco más cercano, grande y brillante: el Sol. Igual que sucedió con Oumuamua, la luz solar nos aporta información valiosa sobre la forma y el movimiento de los objetos, y los hace más visibles. Necesitamos toda la ayuda posible en esta búsqueda porque, de momento, nuestras herramientas para avistar objetos como Oumuamua son relativamente rudimentarias.

Como explicaba al principio de este libro, los telescopios que descubrieron a Oumuamua lo hicieron por accidente; todos se diseñaron, construyeron y desplegaron con otros objetivos en mente. De igual modo, los primeros arqueólogos espaciales tendrán que dar un propósito nuevo a los recursos astronómicos existentes, al menos hasta que llegue el momento en que el mundo les proporcione instrumentos fabricados *ad hoc*.

Mientras tanto, tal vez la forma más fácil de buscar tecnología alienígena en nuestro sistema solar —y, sin duda, la mejor oportunidad que tendremos de echarle el guante— sea diseñar un método para detectarla cuando impacte contra la Tierra. Esto nos obligaría a encontrar un modo de usar la atmósfera terrestre para buscar meteoritos artificiales. Si el objeto midiese lo suficiente, podría dejar tras su estela un resto de meteorito que —si pudiéramos detectar y seguir— nos podría aportar la primera prueba tangible de tecnología extraterrestre.

También podemos escrutar la superficie de la Luna y de Marte en busca de restos de tecnología extraterrestre. Tanto da si comparamos la Luna (que no tiene atmósfera ni actividad geológica) con un museo, con un buzón o con un vertedero; hay algo que podemos afirmar a ciencia cierta: guarda un registro de todos los objetos que han impactado contra su superficie durante los últimos miles de millones de años. Pero si no lo comprobamos, no sabremos nunca si contiene el equivalente a una estatua, una carta, basura… o nada.

No tenemos por qué ceñirnos a la superficie de los planetas. Júpiter, por ejemplo, podría actuar como una red de pesca gravitatoria que atrapara objetos interestelares que pasan cerca de él. Pero, visto el actual estado de negación respecto a lo que hay

ahí fuera, los científicos solo esperan encontrar rocas naturales u objetos congelados, como asteroides y cometas. Y no cabe duda de que es la mayoría de lo que encontraríamos. Pero quizás no todo.

Con lo apetitosa que es la recompensa de un hallazgo así, deberíamos hacer el esfuerzo. Sí, sería inmensamente más caro e inmensamente menos certero que los sondeos de bajo perfil, pero sería una acción parecida a la que ejerce mi familia cuando se pasea por la playa y estudia conchas. Tal vez los arqueólogos espaciales del mañana encontrarán el equivalente a la botella de plástico de una civilización extraterrestre.

. . .

Cuantas más herramientas facilitemos a los arqueólogos del mañana, más podrán extender su búsqueda. Como postulé de la mano de Ed Turner, desde la linde de nuestro sistema solar se pueden buscar luces artificiales de ciudades lejanas (o incluso naves espaciales gigantes). Podemos distinguir una fuente de luz artificial de un objeto que refleja la luz del Sol por la forma en que se oscurece al alejarse de nosotros. Una fuente que emana su propia luz, como una bombilla, se oscurece de forma inversamente proporcional a la distancia al cuadrado, mientras que un objeto lejano que refleja la luz solar se apaga de forma inversamente proporcional a la distancia elevada a la cuarta potencia.

Uno de los mejores artefactos que podrían emplear los arqueólogos espaciales sería la avanzada instrumentación del Observatorio Vera C. Rubin. La previsión es que este telescopio reflector de campo amplio empiece a sondear los cielos en 2022. Además de cartografiar la Vía Láctea y de medir las lentes gravitatorias débiles en busca de pistas sobre la naturaleza de la energía oscura y la materia oscura, se espera que aumente el catálogo conocido de objetos del sistema solar por un factor entre diez y cien. El Observatorio Vera C. Rubin es mucho más sensible que cualquier otro telescopio de rastreo, incluido el Pan-STARRS, que, por supuesto, descubrió a Oumuamua.

Con nuestra flamante capacidad para ver mucho más lejos

que nunca fuera del sistema solar, podríamos buscar luz artificial o redistribución del calor en la superficie de un planeta. Liberándonos del corsé de la ecuación de Drake, podríamos buscar tecnofirmas más allá de las meras señales de comunicación. Para ver cómo podría funcionar esto, vamos a pensar en un planeta que ya está en nuestro campo de visión.

El planeta Próxima b está anclado por las fuerzas de marea y orbita en la zona habitable de Próxima Centauri, la estrella más cercana a nuestro Sol. Cuando mis colegas y yo trabajábamos en la Iniciativa Starshot, Próxima b fue el exoplaneta que destacamos como posible destino de nuestras velas solares. Pese a tener el mismo tamaño que la Tierra, este planeta rocoso siempre muestra la misma cara a su astro. Recordaréis que mi hija pequeña puntualizó que, en un planeta así, sería lógico tener dos casas: una en el lado donde siempre es de día, donde siempre hace calor y brilla el sol; y otra en el lado donde siempre es de noche, donde siempre hace frío y reina la oscuridad.

Pero una civilización avanzada podría encontrar una solución tecnológicamente más sofisticada. Como argumenté en un artículo escrito junto con Manasvi Lingam, los habitantes de ese planeta podrían cubrir la superficie diurna con células fotovoltaicas que generarían electricidad suficiente para iluminar y caldear la cara nocturna. Si enfocáramos con nuestros instrumentos hacia ese planeta y detectáramos una variación en el nivel de luz de su superficie al moverse alrededor de su estrella, sabríamos si ha tenido lugar un proyecto de ingeniería de este tipo. Además, los paneles solares de la cara diurna del planeta también producirían una reflectancia y un color inconfundibles. Para detectar cualquiera de estos fenómenos, solo habría que observar la luz y el color del planeta durante su órbita en torno a la estrella madre.

Este es solo un ejemplo de la gama de señales reveladoras que los arqueólogos espaciales podrían buscar recalibrando sus instrumentos. Como sugiere nuestro propio planeta, se podrían buscar rastros de contaminación industrial en atmósferas lejanas. (A propósito, varios años antes de que Oumuamua apareciera en nuestro sistema solar, escribí un artículo con mi alumno Henry Lin

y con el experto en atmósferas Gonzalo Gonzales sobre la búsqueda de contaminación industrial en la atmósfera de los exoplanetas como una firma que avalaría la existencia de civilizaciones avanzadas.) Y aunque la contaminación atmosférica con una capa de agentes nocivos podría indicar que una civilización no consiguió superar el filtro, también podría ser indicio de los esfuerzos de otra por calentar intencionadamente un planeta demasiado frío, o por enfriar un planeta considerado demasiado cálido. Las excavaciones astroarqueológicas a años luz de los objetos de estudio también podrían englobar una búsqueda de moléculas artificiales, como los clorofluorocarbonos (CFC). Mucho después de que una civilización se hubiera extinguido y hubiera dejado de mandar señales intencionadas, todavía sobrevivirían determinadas moléculas y quedarían algunos efectos de la civilización industrial en su superficie.

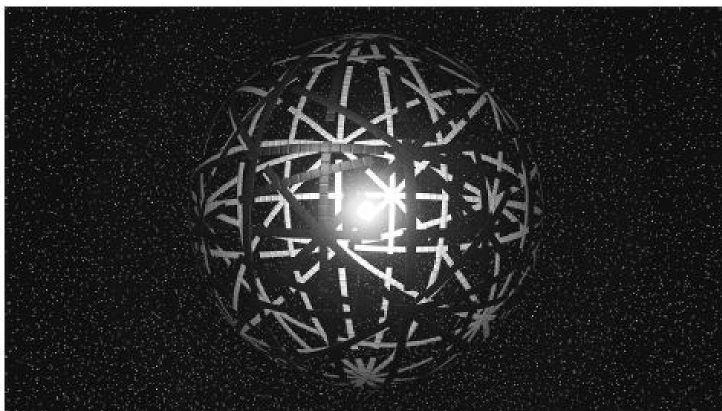
El campo de juego de la arqueología espacial se extiende, obviamente, hasta los confines del universo. No hay ningún motivo para limitar nuestras búsquedas a los planetas. Con esta idea, algunos científicos podrían dedicar sus esfuerzos a buscar destellos de luz de haces que barrieran el cielo desde grandes distancias. Estos haces podrían ser el indicio de un medio de comunicación o un medio de propulsión de una civilización. Cuando la humanidad haya dado los pasos necesarios para lanzar una vela solar con el método que mi equipo diseñó para la Iniciativa Starshot, esa tecnología resultará en destellos brillantes visibles para otros, debido a la inevitable fuga de luz por el borde de las velas.

También se podrían buscar enjambres de satélites o de megaestructuras que bloqueen una fracción significativa de la luz de estrellas lejanas, un sistema hipotético conocido como la esfera de Dyson, bautizada en honor al fallecido Freeman Dyson, el gran astrofísico que la ideó. Estas megaestructuras colosales plantearían retos de ingeniería mayúsculos y, si existieran, serían rarezas. Pero también ofrecen una posible solución tecnológica al gran filtro y, con previsión, medios y oportunidad, una civilización que afrontara su propia extinción podría ponerse manos a la obra para superar estos desafíos. Sin embargo, para descubrir si existen cosas

así hay que empezar por buscar indicios de ellas.

La contemplación de megaestructuras de este tipo suscita una duda habitual que los arqueólogos espaciales tendrán que superar, puesto que sus proyectos han de presuponer la existencia de inteligencias superiores a la nuestra. El hecho de que, a los humanos, un proyecto como la esfera de Dyson se les antoje sobrecogedor —o más bien imposible—, tal vez refleje simplemente que aún no somos lo bastante inteligentes para llevarlo a cabo. Una civilización mucho más avanzada que la nuestra podría haber vencido perfectamente los obstáculos que nosotros, con nuestro limitado entendimiento, vemos insuperables.

. . .





Dos ejemplos de estructuras artificiales de una especie alienígena inteligente alrededor de estrellas y planetas: una esfera de Dyson (una hipotética megaestructura construida alrededor de una estrella para recolectar su luz) y un hervidero de satélites de comunicación alrededor de un planeta tipo Tierra.

Llevada a su máximo potencial, la astroarqueología nos daría

inevitablemente una lección de humildad, pero este sería su aspecto más valioso.

Si somos capaces de aceptar que muy probablemente seamos menos avanzados que las civilizaciones que nos han precedido, es plausible que encontremos formas de acelerar nuestra agónica evolución; una transformación psicológica que podría permitir a la humanidad dar un salto de miles, millones o incluso miles de millones de años.

Hay pruebas aplastantes de que probablemente la humanidad no haya puesto el listón de la inteligencia especialmente alto, y que seguramente otras civilizaciones lo hayan superado. Tenéis ejemplos en el periódico, en la pantalla y en vuestra inagotable fuente de noticias. El verdadero indicador de la inteligencia es la promoción del propio bienestar, pero muchas veces actuamos en detrimento propio. Según he aprendido, considerando las noticias más apremiantes del mundo, salta a la vista que no podemos ser la especie más inteligente que existe.

La humanidad ha pensado muy pocas veces en el bienestar colectivo, tanto durante los últimos siglos como en la actualidad. Entre los malos hábitos en que incurrimos, optamos repetidamente por los beneficios a corto plazo antes que por los beneficios a largo plazo. Lo hacemos en asuntos tan complejos como la energía con huella de carbono cero, en asuntos tan difíciles como las vacunas, y en otros tan obvios como el uso de bolsas reutilizables para la compra. Y durante más de un siglo hemos estado pregonando nuestra existencia por toda la Vía Láctea mediante ondas de radio, sin pararnos a reflexionar sobre si puede haber civilizaciones por ahí que sean más inteligentes y violentas que nosotros.

Obviamente, para coordinar los esfuerzos para enviar al universo un mensaje más sutil y uniforme de la civilización humana, tenemos que ser capaces de unirnos. La historia humana ofrece pocos motivos para abrigar esperanzas de ello en un futuro, al menos a corto plazo.

. . .

Para el imberbe campo de la arqueología espacial, otro desafío fundamental —aparte de conseguir los recursos e instrumentos necesarios— será adoptar estrategias que nos permitan imaginar mejor los productos de civilizaciones más avanzadas. Dicho de otra manera, las limitaciones de nuestra propia experiencia y nuestras suposiciones no nos pueden cegar a la hora de interpretar cualquier posible tecnología extinta, desechada o lanzada a propósito.

Quisiera reforzar esta idea de que no podemos permitir que lo conocido defina lo que esperamos descubrir. Para ello, con mis alumnos he usado muchas veces la analogía de los cavernícolas que descubren un teléfono móvil moderno. Esta analogía se ajusta perfectamente a la posibilidad de que pronto la humanidad descubra un fragmento de equipamiento tecnológico avanzado creado por una inteligencia extraterrestre. Si no nos preparamos, si no hemos tenido en cuenta la ciencia de la arqueología espacial, podríamos comportarnos casi igual que esos cavernícolas y considerar el teléfono una mera roca extraña y brillante. Y con esa estrechez de miras, esos cavernícolas perderían la ocasión de dar un salto adelante de millones de años.

Un hecho sí está claro. Si atribuimos cero probabilidades a encontrar pruebas de objetos artificiales, como hicieron algunos científicos en el caso de Oumuamua, si la civilización humana organiza sus proyectos e inversiones instruyendo a sus expertos con la idea de que «No son nunca los alienígenas», podemos tener por seguro que nunca encontraremos indicios de civilizaciones extraterrestres. Para seguir adelante, debemos pensar con creatividad y evitar los prejuicios sobre lo que esperamos encontrar basándonos en la experiencia pasada.

Como individuos y como civilización, también debemos aprender a ser modestos respecto al lugar que podemos ocupar y al futuro que puede depararnos el universo. Estadísticamente hablando, es mucho más probable que estemos en la zona intermedia de la campana de Gauss de la inteligencia universal, antes que en el pico de las más inteligentes.

A menudo, mis alumnos se sorprenden con esta observación

trivial pero sugerente: «Solo la mitad de vosotros es mejor que la media de esta clase». Para las civilizaciones igual. Que hayamos descubierto muchos planetas similares a la Tierra y que hasta hoy no hayamos encontrado pruebas concluyentes de la existencia de otras civilizaciones no debería hacernos presuponer que nuestra civilización y la vida terrestre son las únicas con un futuro brillante asegurado.

Los historiadores pueden polemizar sobre si nuestro pasado sugiere un rumbo teleológico hacia el progreso, pero el universo ofrece una respuesta clara: la historia del universo indica una tendencia hacia la extinción... de estrellas, de planetas, de sistemas solares y, tal vez, del universo como lo conocemos. La búsqueda —por no hablar del descubrimiento— de tecnología extraterrestre nos podría sacar de nuestro limitado marco, de nuestra costumbre de pensar en el futuro de la siguiente o de las siguientes dos generaciones, en vez de tener presente principalmente el futuro de nuestra civilización.

. . .

Os contaré una anécdota personal para demostraros cuánto necesitamos una nueva mentalidad. Cada vez que iba a una ciudad universitaria concreta de Europa (¡fui hasta en seis ocasiones!), mis anfitriones me alojaban en una diminuta habitación de hotel. Siempre que me duchaba me daba con la cabeza contra el techo ladeado; me tenía que meter en la estrecha cama a rastras y no tenía espacio para estirar las piernas. Decidí que había tenido suficiente. «La próxima vez», me juré a mí mismo, «reservaré una habitación doble». Y lo hice.

Pero cuando llegué al hotel en mi siguiente viaje, el recepcionista dijo:

—Veo que su esposa no ha podido venir... Puedo cambiar la reserva y darle una habitación individual más barata. No es molestia.

—No, no. Por favor, deme la habitación doble que he reservado —dije.

Cuando mencioné el caso a mis anfitriones y les pregunté por qué había tan poco espacio en ese pueblo, contestaron:

—Porque el pueblo tiene una norma que prohíbe que haya ningún edificio más alto que la iglesia.

Al oírlo, no me pude contener y les pregunté lo obvio:

—¿Y por qué no construís una iglesia más alta?

—Porque hace siglos que es así —respondieron.

La inercia es potente. Los jóvenes suelen imaginarse nuevos mundos, literal y metafóricamente, pero sus ideas revolucionarias suelen toparse con el escepticismo y el rechazo de los «adultos que hay en la sala», que perdieron su entusiasmo por cuestionar la realidad hace tiempo, tras muchas y violentas refriegas. Los «adultos» simplemente se acostumbraron a las cosas tal y como eran; acabaron aceptando lo conocido e ignorando lo desconocido.

La juventud no depende de la edad biológica, sino de la actitud. Es lo que induce a una persona a abrirse a nuevos caminos de descubrimiento científico, mientras otras permanecen dentro de los límites de siempre. Hacerse científico concede a uno el gran privilegio de mantener su curiosidad infantil y de poner en tela de juicio ideas injustificadas. Pero esta oportunidad no significa nada a menos que la gente la aproveche.

En la comunidad científica conservadora suele imperar la creencia de que la vida inteligente es probablemente exclusiva de la Tierra y que sería un desperdicio de tiempo y de dinero buscar señales artificiales en el cielo o restos de civilizaciones extintas en el espacio exterior. Pero esta forma de pensar es muy rígida. La nueva generación de investigadores tiene acceso a telescopios que podrían cambiar de arriba abajo esta idea. Así como Copérnico revolucionó el dogma prevalente sobre el lugar que ocupamos en el universo, nuestra generación puede impulsar una nueva revolución «haciendo [aún] más alta la iglesia».

11

La apuesta de Oumuamua

Imaginaos cómo sería la vida en nuestro planeta al día siguiente de confirmarse irrefutablemente que hay vida en otro lugar del universo. Barajad por un momento la hipótesis de que Oumuamua se hubiera descubierto antes de octubre de 2017 y que hubiéramos tenido la oportunidad de lanzar una nave con una cámara para sacar una foto en primer plano del objeto en su punto más próximo. Imaginaos que hubiéramos demostrado más allá de toda duda razonable que este objeto era chatarra tecnológica de una civilización extraterrestre.

Ahora preguntaos esto: ¿qué habría pasado luego?

Para mí, encontrar señales de vida en otro planeta tendría un impacto profundo no solo en la ciencia de la astronomía, sino también en la psicología humana, la filosofía, la religión..., e incluso la educación. Ahora mismo solo una pequeña minoría de la comunidad científica estudia seriamente la posibilidad de que exista vida extraterrestre y se dedica a buscarla; sin embargo, tan pronto como tengamos la certeza de que no estamos solos, estos temas pasarán a formar parte del plan de estudios obligatorio en los institutos. No es descabellado asumir que un descubrimiento así también afectaría al modo en que nos comportamos e interactuamos entre nosotros, pues quizás empezaríamos a sentirnos parte de un solo equipo unido, la humanidad, y dejaríamos de preocuparnos y guerrear por cuestiones baladíes como las fronteras geográficas y las economías separadas.

Este descubrimiento nos cambiaría tanto en aspectos fundamentales como sutiles, pero quiero pensar que la mayoría de

los cambios serían a mejor.

Dada la omnipresencia de planetas habitables, es el colmo de la arrogancia concluir que estamos solos. En mi opinión, es la *hibris* de la juventud. Cuando mis hijas eran bebés, creían que eran especiales. Pero cuando fueron conociendo a otros niños, desarrollaron una nueva perspectiva de la realidad y empezaron a madurar.

Para que nuestra civilización madure, tenemos que aventurarnos en el espacio y buscar a otros. Ahí fuera, no solo podríamos descubrir que no somos los únicos niños del barrio, sino que estamos lejísimos de ser los más espabilados. Igual que en su día dejamos de creer que la Tierra era el centro del universo, debemos empezar a actuar conforme a la evidente probabilidad estadística de que no seamos criaturas inteligentes sin parangón. Las futuras generaciones nos eclipsarán intelectualmente a ti y a mí, pero, por si fuera poco, los humanos son los integrantes de una civilización sin más y muy probablemente hayamos alcanzado cotas muy inferiores a las que el universo ya ha presenciado.

Esta manera de pensar nos proveerá de un sentido de la modestia, lo cual mejorará nuestra perspectiva sobre el lugar que ocupamos en el universo, que es más frágil de lo que solemos pensar. Y podría aumentar nuestras opciones de sobrevivir. Porque cada día que pasa estamos jugando con el sino de nuestra civilización y, de momento, parece poco probable que vayamos a pervivir.

. . .

Pensad en la apuesta de Oumuamua, inspirada en la famosa apuesta que propuso el matemático, filósofo y teólogo francés del siglo XVII Blaise Pascal. Así es como la planteó: los humanos apuestan sus vidas a que Dios existe o no existe. Según Pascal, es mejor vivir la vida como si Dios existiera.

Su razonamiento discurre así: si resulta que Dios no existe, solo habrás renunciado a unos pocos placeres durante tu vida. Ahora bien, si Dios existe, te ganarás el cielo y, con ello,

recompensas infinitas. También te ahorras el peor resultado posible: una eternidad en el infierno.

De forma muy parecida, diría yo, la humanidad apuesta su futuro a que Oumuamua es o no es tecnología extraterrestre. Y aunque nuestra apuesta es estrictamente seglar, sus implicaciones no son menos profundas. En un sentido muy tangible, la promesa de apostar bien, de explorar entre las estrellas para encontrar la vida que esperamos que haya, es el cielo en sí mismo. Y, especialmente, cuando consideramos el espectro del gran filtro y el hecho de que las civilizaciones con el potencial tecnológico para explorar el universo también son muy vulnerables a la autoaniquilación, apostar mal y planificar poco y tarde podría acelerar nuestra extinción.

Por supuesto, estas dos apuestas difieren enormemente en algunos aspectos importantes. Por ejemplo, la apuesta de Pascal requiere un salto de fe gigantesco. La apuesta de Oumuamua solo requiere un ejercicio de esperanza modesto; en concreto, la esperanza de recabar más pruebas científicas. Podría ser algo tan simple como una única imagen en primer plano y en alta resolución de un objeto que ya hemos conseguido fotografiar desde lejos.

En su análisis de costes y beneficios para la eternidad, Pascal tuvo que postular la existencia de un ser divino y omnisciente. Postular que Oumuamua es tecnología extraterrestre solo exige creer en una inteligencia que no es la nuestra.

Es más, mientras que Pascal solo tenía fe y nada más que fe, nosotros tenemos indicios y razonamiento, activos que favorecen la posibilidad de que Oumuamua fuera tecnología extraterrestre.

Hay otra razón por la que comparar estas apuestas me parece interesante. He visto que las conversaciones sobre Oumuamua derivan muchas veces a lo religioso. A mi entender, el motivo es que cualquier inteligencia lo bastante avanzada se nos antojaría algo muy parecido a Dios.

. . .

«Desde que estudia astronomía, ¿diría que sus creencias religiosas, o sus creencias acerca de Dios, han cambiado de alguna manera?» Cuando un periodista del *New Yorker* que me estaba entrevistando sobre Oumuamua me preguntó esto, me quedé un momento perplejo. ¿Por qué se asume que soy religioso? No lo soy ni lo he sido nunca.

Pero comencé a entender de dónde había salido esta línea de interrogatorio durante una entrevista con la CNN. Hacia el final del tiempo asignado, el entrevistador me preguntó: «¿Cómo cabría esperar que fuera la primera civilización extraterrestre que encontráramos: religiosa o laica?». Quizás se dio cuenta de que no podía responder en una frase, porque añadió que, como quedaba poco tiempo, no tenía por qué contestar.

Creo que sí debo contestar. Y lo que es más importante, creo que debemos reflexionar más de lo que lo hacemos sobre los orígenes de este tipo de pregunta. Oumuamua nos ofrece una asombrosa posibilidad y, por lo general, siempre se nos ha dado mal gestionar lo que nos da miedo.

A lo largo de los siglos, nuestra civilización ha ideado medios, desde mitos hasta el método científico, para entender cosas que nos inspiraban miedo. Y con el transcurso del tiempo, muchas de estas cosas han pasado de la columna de los «milagros» de la experiencia humana a la columna de lo mundano. Buena parte de esto se puede atribuir a los avances científicos. Pero no hay ninguna disciplina intelectual que no corra el riesgo de caer en la ceguera dogmática, y esto sirve tanto para los científicos como para los teólogos.

Pensad en cómo se tomaría una persona laica la pregunta que me hizo el entrevistador de la CNN. Tal vez admitiría momentáneamente que, por una parte, los seres religiosos tienen más posibilidades de ser éticos, tal vez de regirse por valores nobles, o de pensar que los mansos deberían heredar el universo. Al fin y al cabo, la mayoría de las religiones de la humanidad enseñan sistemas de valores abstractos que los seguidores obedecen, tanto si lo hacen por miedo al castigo de una entidad divina como por intereses sociales. Una persona laica podría

incluso conceder que unas pocas religiones, como el jainismo, suscriben explícitamente la no violencia.

Sin embargo, dirá esta persona, con echar un vistazo rápido a la historia de la religión debería bastarnos para ser escépticos. Para escoger un ejemplo al azar, recordad la invasión española de Centroamérica y Sudamérica en el siglo XVI. Consumido por un odio a la idolatría, en 1562 el cura católico Diego de Landa Calderón organizó un auto de fe colosal en el que quemó miles de manuscritos —o códices— mayas. Destruyó tantos que apenas quedan unos pocos para que los expertos actuales los puedan estudiar. «Hallámosles gran número de libros de estas sus letras», declaró el cura, «y porque no tenían cosa en que no hubiese superstición y falsedades del demonio, se los quemamos todos». Si creemos que nuestro primer encuentro con extraterrestres o con su tecnología replicará la Inquisición de la Iglesia católica romana y las prácticas que siguieron a la llegada de Hernán Cortés en 1519 a Tenochtitlán, la capital del Imperio azteca, tenemos motivos para preocuparnos.

Pero ¿cómo respondería una persona religiosa a la pregunta «¿cómo cabría esperar que fuera la primera civilización extraterrestre que encontráramos: religiosa o laica?»? Sin duda, las ciencias —incluidas las ciencias sociales como la economía— han ido aumentando gradualmente la esperanza de vida y reduciendo la pobreza extrema. Pero suponer que preferiríamos sin lugar a dudas una civilización laica y científica plantea inquietudes igualmente manidas.

Acordaos del siglo pasado, el XX. Tanto la Primera como la Segunda Guerra Mundial, dos de los conflictos más letales de la historia humana, fueron contiendas civiles por fronteras, recursos y poder. Durante ese mismo siglo, la eugenesia, la ciencia que supuestamente quería controlar la reproducción humana con vistas a mejorar la especie, apuntaló de forma nefasta el racismo en los Estados Unidos y dio alas al Holocausto en la Alemania nazi. Y el experimento laico más transparente del siglo XX, la Unión Soviética, solía exigir que los avances científicos se ajustaran a los principios de la ideología comunista. Es innegable que la ciencia

también es susceptible a la ortodoxia, al autoritarismo e incluso a la violencia.

En mi opinión, la dificultad radica en la pregunta que formuló el entrevistador. Extrajo una conclusión equivocada de las enseñanzas que nos aporta la única civilización que se puede estudiar: la nuestra. Si hablamos de toda una civilización, preguntar «¿religiosa o laica?» tiene pinta de plantear una falsa dicotomía. Si nos guiamos por la historia humana, tanto la reciente como la antigua, es probable que cualquier civilización alienígena inteligente que encontremos sea tanto religiosa como laica, lo cual no es en sí mismo un motivo para preocuparse.

Volved a imaginaros cómo sería el día siguiente al descubrimiento de que hay más vida en el universo. Me atrevería a hacer otra predicción: cuando sepamos a ciencia cierta que no estamos solos en el universo, todas las religiones de la humanidad —y todos los científicos, incluso los más conservadores— encontrarán formas de ahormarse a este hecho.

Lo que espero no es que la primera especie extraterrestre inteligente que encontremos sea religiosa o laica, sino que se rija por la humildad más que por la arrogancia. Así, el encuentro sería una experiencia de aprendizaje mutuo beneficiosa para ambas partes, no un conflicto de suma cero repleto de intereses propios y seguido por un pulso por la dominación. Por descontado, esta esperanza también atañe a la forma en que deberíamos proceder a la hora de explorar el espacio, a medida que nos acercamos a paraderos lejanos y valoramos la idea de fundar nuestros propios asentamientos, nuestros pequeños Beit Hanans entre las estrellas. A medida que nos vayamos adentrando más y más en el universo, nuestra responsabilidad moral y la humildad deberán regirse por valores morales más elevados que los que hemos demostrado en la Tierra hasta el momento.

En el caso de la humanidad, a lo largo de nuestra historia la religión y la ciencia han reforzado tanto nuestra humildad como nuestra arrogancia. No hay nada más arrogante que descartar lo que se puede sopesar racionalmente, pero eso es lo que hacen los antifaces intelectuales, tanto si son generados por los teólogos

como por los científicos. A veces, ambos campos han incitado a sus practicantes a inhibir de esta manera su visión, restringiendo sus pensamientos y obligándolos a seguir los hondos surcos de las líneas de investigación existentes.

No obstante, hay que admitir que ha habido otras ocasiones en que tanto la ciencia como la teología han inducido a bandadas de sus prosélitos a hacer todo lo contrario: sacarse el antifaz y abrirse a lo nuevo, lo controvertido y lo inesperado. Aquí es donde encuentro motivos para la esperanza.

En primer lugar, es probable que los miembros de cualquier civilización extraterrestre se queden tan perplejos por habernos encontrado como nosotros por encontrarlos a ellos. Seguramente también hayan contemplado el abismo del espacio durante incontables generaciones; ellos también entenderán que el universo rezuma planetas que pueden albergar vida y, aun así, la vida parece excepcionalmente rara.

En segundo lugar, es bastante posible que tengan recelos de cómo vayamos a tratarlos como especie, tantos como los que podríamos albergar nosotros respecto a sus intenciones. Sea cual sea la información que posean sobre la vida en la Tierra, será parcial y buena parte de ella estará muy desfasada. Si los astrónomos terrestres ven el pasado cuando observan el espacio, los astrónomos extraterrestres también. Las leyes de la física, a fin de cuentas, se aplicarán tanto a las tecnologías de nuestros homólogos alienígenas como a las nuestras, y, basándonos en todo lo que hemos aprendido hasta la fecha, esto sugiere que las distancias recorridas animarán a la modestia. Pensad que todos los vehículos interestelares de la humanidad están condenados a hacer viajes solo de ida; seguramente pasará lo mismo con los extraterrestres.

En tercer lugar, quiero pensar que, entre los seres alienígenas inteligentes que acabemos encontrando, habrá unos pocos existencialistas. No creo que sea un concepto fantástico. Igual que la historia intelectual de la humanidad dio pie a que en la Tierra floreciera la escuela de pensamiento existencial, que influyó en todo lo que vino después, sospecho que en una civilización

alienígena inteligente habrá pasado lo mismo. Creo que no serán menos que nosotros, que habrán invertido su vida entera en afrontar los misterios más enrevesados de la existencia, aquellos que sí se pueden cambiar de la columna de lo milagroso a la columna de lo mundano.

No hay misterio más fundamental que el significado de la vida. Algunos de nosotros desempeñamos el papel de Hamlet, otros, los papeles de Rosencrantz y Guildenstern, pero todos experimentamos la sensación de transitar por un escenario sin guion. Son muy pocos los humanos —y sospecho que los seres inteligentes— que nunca han tratado de responder a la pregunta: ¿cuál es el sentido de todo esto?

En una fase temprana de mi vida recurrí a los filósofos existencialistas, en especial a Albert Camus, en busca de orientación. Una de sus obras me marcó especialmente: *El mito de Sísifo*. Según la mitología griega, los dioses castigaron a Sísifo y le obligaron a empujar durante toda la eternidad una pesada roca hasta la cima de una montaña, pero cada vez que llegaba cerca de la cumbre, el pedrusco caía rodando de nuevo. Camus creía que esta era una analogía de la absurda condición del hombre, atrapado de forma similar en un ciclo perpetuo de intentar entender un mundo inexplicable. Para Camus, la condición común de toda vida pensante, vivir y morir sin llegar a saber nunca por qué, era absurda. Creo que otros seres conscientes —intelectualmente limitados, igual que nosotros— llegarán de forma ineludible a la misma conclusión: la vida es absurda.

Es difícil conservar la arrogancia ante lo absurdo. La humildad es la postura más adecuada. Cuantos más ejemplos vemos de la humanidad comportándose con humildad ante lo increíble, más razones tenemos para esperar lo mismo de las civilizaciones extraterrestres.

Durante la historia, los humanos han tratado de luchar repetidamente por causas más inspiradoras que sus propias vidas; en general, por causas relacionadas con ocupaciones terrenales, como son la nacionalidad y la religión. Por coger otro ejemplo al azar, durante la Segunda Guerra Mundial los soldados japoneses

estaban dispuestos a sacrificar sus vidas por su emperador, Hirohito. Pero, atendiendo al hallazgo reciente de que hay aproximadamente mil trillones (o 1.000.000.000.000.000.000.000) de planetas habitables en el universo observable, el estatus del emperador no puede ser superior al de una hormiga que se aferra a un grano de arena de una playa gigante. Y lo que podemos decir de un emperador, podemos decirlo también de un soldado o de cualquier otro terrícola.

Más nos valdría alzar los ojos y ver más allá de ese grano de arena.

Quizás, más que comportarnos como grandes actores en papeles insignificantes, deberíamos recostarnos en la butaca y limitarnos a disfrutar del deslumbrante espectáculo que nos rodea. En el sentido bucólico de detenernos a admirar la belleza del mundo (o inspeccionar las conchas), el espectador tiene mucho de lo que disfrutar, tanto en la Tierra como fuera de ella. Si el rico espectáculo de sucesos de nuestro planeta no resulta lo bastante inspirador, podemos utilizar nuestros telescopios para ser testigos de una variedad de dramas aún mayor. Durante la próxima década, el Observatorio Vera C. Rubin llevará a cabo el Legacy Survey of Space and Time (traducible como «Sondeo del Legado del Espacio y el Tiempo»), un proyecto de diez años en el que se sacarán fotografías de más de la mitad del cielo nocturno, quinientos petabytes de imágenes de nuestro entorno cósmico. Ojalá uno de los resultados del sondeo fuera un nuevo servicio de suscripción audiovisual, pero que transmitiera imágenes de todo el universo.

Sin embargo, es evidente que no todos podemos seguir siendo espectadores. Algunos aspiramos a dejar huella. Las formas en que se puede contribuir —y yo siempre defenderé que no hay ningún ámbito en el que se pueda contribuir tanto como en la ciencia— son infinitas, pero sería conveniente fijarnos un objetivo ajustado a nuestra capacidad para asombrarnos y para abrigar esperanzas.

. . .

Reflexionar sobre los valores de otras civilizaciones nos acaba

curtiendo para entender y pulir los nuestros. Y el esfuerzo también plasma la promesa de la apuesta de Oumuamua.

Si apostamos a que recientemente la humanidad tuvo contacto con tecnología extraterrestre, cambiaremos de plano lo que buscamos y lo que esperamos encontrar en el universo. De igual modo, cambiaremos esas cosas que podríamos aspirar a hacer y que no solo marcarían la diferencia en nuestro mundo, sino también en el universo en general. Si vivimos sabiendo que hay, o que ha habido, vida inteligente en el universo aparte de la nuestra, redefiniremos algunas de las misiones de la humanidad.

Personalmente, siempre he anhelado que el universo me enseñara algo nuevo que cambiara nuestra perspectiva cósmica y estimulara nuestras aspiraciones espaciales. Un astrónomo es un espectador, y yo atribuyo un sentido a mi vida utilizando el punto de vista del espectador para generar nuevos desafíos para nuestra civilización en el plano cósmico. A la vista de las proezas de la ingeniería que hemos logrado en la Tierra, si ampliamos la perspectiva podríamos desarrollar nuevas tecnologías, plantear nuevas preguntas, crear nuevas disciplinas y ver nuestro papel en un hábitat más grande.

De entre todos los datos astronómicos, el descubrimiento de vida alienígena es el que podría repercutir más en nuestro punto de vista general. ¿Y si ya hemos hecho ese descubrimiento? ¿Y si, al igual que sucede tantas veces cuando la ciencia tropieza con ideas que alteran profundamente nuestra forma de ver el mundo que nos rodea y el lugar que ocupamos en él, lo único que nos impide adoptar ese punto de vista más general es nuestra propia reticencia a aceptar con optimismo la apuesta de Oumuamua?

El mayor beneficio de un encuentro con seres superiores sería la oportunidad de hacerles esa pregunta clave que nos ha preocupado durante siglos: ¿cuál es el sentido de la vida? Espero vivir lo suficiente para poder oír su respuesta, lograda tras adquirir conocimiento científico a lo largo de muchos milenios. No obstante, también me temo que nuestra arrogancia entorpecerá el ritmo al que la humanidad avanza hacia la respuesta, dado que muchas veces nos ha llevado a aferrarnos a nuestro grano de arena,

en vez de mirar a la vastedad de las estrellas.

12

Semillas

Ante el envite de Oumuamua, si decidimos apostar a que el objeto es una fabricación de seres extraterrestres inteligentes, y no una simple roca peculiar, surge otra pregunta: ¿cuánto estamos dispuestos a apostar?

Para empezar, consideremos la apuesta menos ambiciosa que podría hacer la humanidad: simplemente podríamos asumir que echamos a perder la oportunidad de examinar como es debido al primer viajante interestelar avistado por la humanidad, y decidir que en el futuro estaremos más preparados para no pasarlo por alto. La preparación podría seguir diversos derroteros: entre otros, podríamos idear un modo de fotografiar el siguiente objeto extremadamente anómalo que pasara por nuestro sistema solar, quizás, incluso, capturarlo. Pero esa preparación también implicaría aumentar todas las capacidades, tanto intelectuales como tecnológicas, para poder estudiar e interpretar lo que encontremos. Incluso los resultados de una apuesta tan modesta amenazan con quitar el aliento: el descubrimiento de tecnología de otra civilización nos podría ayudar a alcanzar metas a las que aspiramos desde hace mucho.

La astroarqueología sería una iniciativa de este tipo, pero nuestros esfuerzos no deberían acabar ahí.

Si nos tomamos en serio la hipótesis de que Oumuamua es de origen extraterrestre, también debemos tomarnos en serio los desafíos que probablemente suscitará nuestro siguiente encuentro con tecnología o vida extraterrestre. En cuanto encontremos pruebas concluyentes de que hay vida extraterrestre en el universo,

es previsible que surja un debate internacional sobre la conveniencia y la mejor forma de reaccionar. ¿Cómo nos preparamos para este debate? ¿Cómo anticipamos y planificamos la comunicación que los buscadores de vida extraterrestre inteligente llevan décadas esperando, o, ya puestos, cualquier otro indicio de vida inteligente extraterrestre?

Si apostamos a que Oumuamua no era más que una roca extrañísima, el día que recabemos claramente más pruebas de esta clase nos devanaremos los sesos por fabricar las herramientas necesarias. La primera será probablemente el campo académico de la «astrolingüística», para resolver el desafío de un medio de comunicación intergaláctico. Le seguirían otros ámbitos, como la «astropolítica», la «astroeconomía», la «astrosociología», la «astropsicología», etcétera.

Ahora bien, si apostamos a que Oumuamua era de origen extraterrestre, mañana mismo podríamos empezar a crear esos campos.

Hay otras apuestas relativamente poco ambiciosas que podríamos hacer en relación con el origen extraterrestre de Oumuamua. Por ejemplo, tras descubrir de forma concluyente que no estamos solos en el universo, también nos daremos cuenta enseguida de que el derecho internacional terrestre no nos aporta un marco exhaustivo para responder a un encuentro extraterrestre. En verdad, una de las apuestas optimistas más modestas que podría hacer la humanidad con respecto al origen extraterrestre de Oumuamua sería crear protocolos y controles internacionales —seguramente al amparo de las Naciones Unidas— que regularan nuestros esfuerzos por encontrar indicios de vida extraterrestre y por comunicarnos con otros seres extraterrestres inteligentes. Bastaría con un tratado rudimentario acordado por todos los firmantes terrestres; así tendríamos un marco para saber cómo responder como especie a un encuentro con una civilización inteligente y madura, miles de millones de años más avanzada que nosotros.

¿Cuál sería la apuesta más ambiciosa que podría plantearse la humanidad en lo tocante a Oumuamua? Hacer lo suficiente para

garantizar la supervivencia de la vida terrestre.

Una apuesta más ambiciosa aún sería aprender de lo que suponemos que podría haber intentado hacer una civilización más madura. Si damos un pequeño salto científico y barajamos la posibilidad de que Oumuamua era tecnología extraterrestre, daremos a la humanidad un empujón para que piense como una civilización que podría haber dejado una boya en forma de vela solar para que nuestro sistema solar se topara con ella. No solo nos induciría a imaginar cómo sería una nave alienígena, sino a valorar la construcción de una nave similar propia.

Una nave alienígena podría llevar robots equipados con impresoras 3D e inteligencia artificial, con los que podrían usar materias primas recogidas en otra parte para fabricar objetos artificiales basados en modelos de su planeta de origen. Esto podría servir para protegerse de catástrofes en un lugar determinado, al hacer copias de un mismo contenido valioso en otras partes. La ventaja de imprimir vida en 3D a partir de materias primas en otro planeta es que los sistemas biológicos naturales, con el ADN que conocemos, tienen un tiempo de vida limitado. Hasta los componentes de la vida mejor guardados se pueden desintegrar en unos pocos millones de años. Las máquinas capaces de fabricar vida, una vez llegadas a su destino, pueden durar mucho más.

Tal vez deberíamos fomentar las mismas líneas de investigación antes de obtener pruebas concluyentes de que no estamos solos, o incluso de que no somos los seres más inteligentes del universo.

De niño, solía buscar la esfera de semillas de los dientes de león, me la acercaba a la cara y soplaba con todas mis fuerzas. Cumpliendo los designios de la naturaleza, las semillas se esparcían por todas partes y, dos semanas más tarde, se veían nuevas plántulas brotando del suelo. ¿Las civilizaciones podrían hacer algo parecido para protegerse de la extinción? ¿Es posible que las civilizaciones extraterrestres ya lo hayan intentado? ¿Esta podría ser también una manera de preservar la vida en el universo?

Recordad que Oumuamua se desvió ligeramente del rumbo que cabría esperar si solo lo hubiese afectado la gravedad del Sol.

Hubo algo más que lo empujó y, según mi hipótesis, ese algo fue la fuerza de la luz del Sol sobre una vela solar extraterrestre. Pero incluso asumiendo que el objeto fuera diseñado precisamente con este fin, solo se desvió un poco. El motivo es que la fuerza del Sol apenas es capaz de acelerar una vela solar hasta una milésima parte de la velocidad de la luz, por más que empiece su viaje muy cerca del astro: a diez veces el radio solar. De hecho, esa es la distancia más cercana a la que hemos conseguido mandar una nave, la Sonda Solar Parker, la nave robótica lanzada en 2018 para estudiar la corona del Sol. Necesitaríamos una fuerza mucho mayor para propulsar un número suficiente de nuestras semillas de vida terrestre por el universo. Más que la radiación de nuestro Sol, sería algo como una supernova.

La explosión de una estrella despediría una luminosidad equivalente a mil millones de soles que brillaran durante un mes. Propulsada por una explosión así, una vela solar que pesara menos de medio gramo por metro cuadrado podría alcanzar casi la velocidad de la luz aunque estuviera a una distancia cien veces superior a la que separa la Tierra del Sol. Nuestra nave-semilla podría llegar a parajes del universo con los que ahora solo podemos soñar, de modo que se ensancharía enormemente el número de planetas en los que las semillas de la vida podrían encontrar un hogar.

Para haceros una idea de cómo podría funcionar esto en la práctica, imaginaos una civilización que habitara cerca de Eta Carinae, una estrella masiva con una luminosidad cinco millones de veces superior a la del Sol. Para asegurar la continuidad de la vida, podría estacionar muchas velas solares alrededor de la estrella y esperar pacientemente la explosión que las lanzara casi a la velocidad de la luz a un coste mínimo.

Una civilización como la que postulamos habría llegado a un nivel de paciencia, o de derroche, que la humanidad no ha logrado… todavía. Las estrellas masivas viven millones de años y el momento exacto en que explotan es difícil de predecir. Eta Carinae, por ejemplo, tiene unos pocos millones de años de vida. Predecir su muerte con milenios de precisión equivale a

pronosticar la muerte de una persona con un año de diferencia tras aproximarse a la esperanza de vida media.



La nebulosa del Cangrejo es el resto de una supernova que se observó desde la Tierra en el año 1054. Se encuentra a una distancia de unos 6.000 años luz y cerca del centro contiene una estrella de neutrones, el púlsar del Cangrejo, que rota treinta veces por segundo y centellea como un faro. Se podrían aprovechar explosiones como esta para propulsar velas solares hasta los confines más alejados del universo. ESO

Esta civilización también tendría que haber planificado de antemano con una destreza que la humanidad nunca ha demostrado poseer. Es cierto que, utilizando baratos cohetes químicos, las velas solares se podrían transportar hasta su destino

alrededor de la vieja estrella mucho antes de la explosión, aunque el viaje podría tardar millones de años con ese primitivo medio de propulsión.

Pero son la previsión y la paciencia las que se erigen como mayores obstáculos. La tecnología, por más formidable que sea, es viable. Basándonos en nuestros modelos para la Iniciativa Starshot, sabemos que las velas tienen que ser altamente reflectantes para no absorber demasiado calor y quemarse. También podemos prever cómo habría que fabricar esas naves para evitar el peligro de que la brillante luz estelar las impulsara antes de la explosión. Y, dado que podrían seguir caminos repletos de restos estelares, habría que diseñarlas de forma que se plegaran en forma de aguja, a fin de minimizar los daños y la fricción, y aumentar muchísimo el número de naves.

Sería la mayor de las apuestas seguras que podría hacer una civilización. Contándose quizás por billones, estas pequeñas velas solares, fabricadas para preservar los componentes básicos de la vida, podrían reposar como semillas durmientes a una distancia enorme de una estrella masiva vieja, esperando lo inevitable. Aunque la civilización que las colocara allí no lograra superar su gran filtro, con la supernova, la estrella dispersaría por el universo la posibilidad de continuar la vida, tal como hacen las semillas de un diente de león.

Por supuesto, no hace falta tener tanta paciencia. Para la humanidad, ya es tecnológicamente factible usar potentes láseres que serían mucho más efectivos que el Sol a la hora de propulsar las velas solares hacia el espacio interestelar. Huelga decir que esta es la propuesta básica de la Iniciativa Breakthrough Starshot: un rayo láser que generara diez gigavatios de potencia por metro cuadrado sería diez millones de veces más brillante que la luz del Sol que llega a la Tierra. Además, podría impulsar la vela solar a varias décimas de la velocidad de la luz.

Sin duda, haría falta una inversión enorme. Pero en cuanto sepamos que no estamos solos, que casi seguro que no somos la civilización más avanzada que ha existido jamás en el cosmos, caeremos en la cuenta de que hemos gastado más en desarrollar

medios para destruir toda la vida del planeta que el coste que habría tenido el intentar preservarla. Ante la apuesta de Oumuamua, podríamos llegar a la conclusión de que la pervivencia de la humanidad compensa el gasto.

. . .

Actualmente, nos lo estamos jugando todo a una carta: la Tierra. De resultas, la humanidad y nuestra civilización son sumamente vulnerables a los cataclismos. Esparciendo múltiples copias de nuestro material genético por el universo, podríamos protegernos de ese riesgo.

Esta misión guarda afinidad con la revolución que gestó la invención de la imprenta, con la que Johannes Gutenberg pudo producir en serie copias de la Biblia y distribuirlas a lo largo y ancho de Europa. Al fabricarse tantos ejemplares del libro, cada copia individual perdía su valor único como objeto precioso.

Del mismo modo, en cuanto sepamos producir vida sintética en nuestros laboratorios, se podrían distribuir «impresoras Gutenberg de ADN» para hacer copias del genoma humano a partir de materias primas extraídas de la superficie de otros planetas. Ninguna copia sería en sí misma esencial para preservar la información genética de nuestra especie; esa información estaría impresa en múltiples copias. En este preciso instante, colegas míos de Harvard y de otros lugares están batiéndose el cobre por pasar el milagro de crear vida a la columna de los hitos mundanos. Así como la física se benefició muchísimo de los experimentos de laboratorio que revelaron las leyes del universo, estos científicos están intentando crear vida sintética en el laboratorio y arrojar luz sobre la infinidad de caminos químicos que podrían dar pie a la aparición de la vida. Por ejemplo, el Laboratorio Szostak, dirigido por el epónimo Jack Szostak, ganador del Premio Nobel, está construyendo un sistema celular sintético que evoluciona, se replica y preserva información genética de acuerdo con los mecanismos esbozados por Charles Darwin en 1859. Szostak y su equipo están intentando crear una protocélula capaz de replicarse

y variar, con lo que debería poder evolucionar; su esperanza es que esto desemboque en el surgimiento espontáneo de catalizadores genómicamente codificados y moléculas estructuradas.

De llegar a fructificar, esta gesta nos indicaría cuáles son los mejores destinos celestes para nuestra búsqueda astronómica de vida, mostrándonos las condiciones en las que esta puede surgir. Pero también nos podría enseñar más cosas sobre nosotros mismos como formas de vida y, en el proceso, administrarnos una dosis muy necesaria de humildad.

¿Verdad que los libros de cocina están llenos de recetas que llevan los mismos ingredientes, pero que dan como resultado pasteles diferentes en función del tiempo de horneado o del modo en que se mezclan y se calientan esos ingredientes? Algunas tartas saben mejor que otras. No hay razones para suponer que la vida terrestre, que surgió en circunstancias azarosas en la Tierra, fuera óptima. Tal vez haya otros caminos para cocer mejores pasteles.

La perspectiva de que la humanidad pueda gestar vida sintética en el laboratorio también suscita dudas interesantes acerca de nuestros propios orígenes. ¿Somos el resultado de una evolución exclusivamente terrestre? ¿O nos dieron un empujoncito de ayuda, igual que las protocélulas que se están desarrollando en los laboratorios universitarios?

. . .

En 1871, en un discurso ante la British Association for the Advancement of Science, el prolífico físico y matemático lord Kelvin sugirió que la vida pudo haber llegado a la Tierra a través de meteoritos.

El concepto no era original de lord Kelvin. Los antiguos griegos ya habían barajado la idea y, décadas antes del discurso, otros científicos europeos habían escrutado la posibilidad. Pero, a pesar del interés que suscitó durante el siglo XIX, tras la presentación de Kelvin a la asociación en 1871, la idea quedó aparcada durante un siglo.

No obstante, estas dos últimas décadas, la teoría de la

panspermia —la tesis de que la vida podría llegar a planetas habitables a través de meteoritos, cometas o polvo estelar— ha ido granjeándose más y más atención a medida que aparecían investigaciones científicas que confirmaban la hipótesis de que ciertos meteoritos descubiertos en la Tierra provenían de Marte.

En cuanto empezamos a buscar estos meteoritos marcianos, encontramos muchos. Descubrimos que el ALH84001, un meteorito marciano hallado en la Antártida en 1984, nunca había superado los cuarenta grados Celsius desde su eyección desde la superficie de Marte. Hasta la fecha, se han identificado más de cien de estos objetos originarios de Marte. Si hubo alguna vez vida en el planeta rojo, no hay duda de que ha tenido oportunidades de llegar a la Tierra y sobrevivir.

El misterio se acentúa al saber que, según el consenso científico, la Tierra no fue habitable hasta hace unos 4.000 millones de años, si bien hemos encontrado indicios de vida que se remontan a hace 3.800 millones de años. ¿Cómo es posible, se preguntan los científicos, que la evolución darwiniana generara tan pronto vida basada en el ADN? La biología terrestre nos ha enseñado que la vida es egoísta. Las adaptaciones selectivas y espontáneas que incrementan la habilidad de la vida para perseverar son los cimientos de la biología darwiniana. El objetivo de la vida es la supervivencia, cosa que pasa por propagarse. ¿Cómo de plausible es que la vida usara la panspermia para esparcirse y asegurar su supervivencia?

En 2018 mis posdoctorados, Idan Ginsburg y Manasvi Lingam, y yo publicamos un artículo titulado «Galactic Panspermia» [Panspermia galáctica], en el que presentamos un modelo analítico para calcular el número total de objetos rocosos o congelados que los sistemas planetarios de la Vía Láctea podrían atrapar, y que podrían derivar en panspermia en caso de albergar vida.

Primero valoramos la posibilidad de que fuéramos marcianos. Para que la vida en la Tierra proviniera de Marte, el planeta rojo tendría que haber recibido el impacto de un asteroide o cometa con la fuerza suficiente para expulsar material al espacio interplanetario, y ese material tendría que haber acabado llegando

a la Tierra. Y el requisito clave: cualquier vida a bordo tendría que haber sobrevivido al viaje interplanetario, así como a la eyección y al aterrizaje.

Es cierto que, a lo largo de sus miles de millones de años de existencia, Marte ha recibido billones de impactos de rocalla espacial más grande que una persona. Muchos impactos generaron temperaturas y presiones de choque que acabaron forzosamente con cualquier componente básico de la vida que siguiera aferrado a las rocas expulsadas. Sin embargo, como sucede con el meteorito marciano ALH84001, algunos de los fragmentos expelidos no superaron la temperatura a la que hierve el agua, con lo que algunos microorganismos podrían sobrevivir. Esto significa que, si hubiera vida en Marte, seguiría viviendo en rocas lanzadas al espacio tras esos impactos suaves. Los científicos estiman que Marte ha eyectado miles de millones de estos fragmentos; objetos con temperaturas lo bastante bajas para que la vida pudiera sobrevivir.

Pero, aunque los microorganismos sobrevivieran a su eyección desde Marte, ¿qué probabilidad hay de que pudieran sobrevivir al viaje? Sobre esta cuestión ha habido un acalorado debate, sobre todo en lo que toca a lo letal que es la radiación ultravioleta para las bacterias. No obstante, se han descubierto bacterias radiorresistentes con una enorme tolerancia a la radiación ultravioleta y la ionización; cepas que podrían sobrevivir a un viaje parecido. (De hecho, algunas bacterias terrestres presentan niveles tan altos de tolerancia a rayos ultravioleta y radiación que posiblemente se originaran en Marte.) Es más, la hipotética quiniela de bacterias capaces de sobrevivir aumenta si suponemos que viajaron dentro de un meteorito o un cometa que los protegió de la radiación ultravioleta; un escudo rocoso de este estilo podría medir solo unos pocos centímetros de ancho. Y otros estudios han demostrado que las esporas de las bacterias *Bacillus subtilis* pueden sobrevivir en el espacio hasta seis años; otras bacterias podrían vivir durante periodos de tiempo increíblemente más prolongados, de hasta millones de años. Además, los científicos han sugerido que una colonia de bacterias podría ser

capaz de rodearse de una biopelícula que aumenta muchísimo la protección de los organismos contra la radiación nociva.

En otro artículo, mi alumno Amir Siraj y yo calculamos que los objetos que pasan rozando a solo cincuenta kilómetros del nivel del mar pueden recoger las bacterias que flotan en la atmósfera de la Tierra y luego salir del sistema solar. Un objeto de esta clase con rumbo al espacio interestelar sería como una cuchara que se abriera paso por la espuma de un capuchino, solo que en este caso se llevaría un residuo de la vida terrestre. Descubrimos que miles de millones de estas «cucharas» habían hurgado en la atmósfera de la Tierra durante la vida del planeta.

¿Y las bacterias? ¿Habrían sobrevivido al viaje? Es de sobra conocido que los pilotos de cazas apenas pueden sobrevivir a maniobras que conllevan aceleraciones de más de diez *g,* donde *g* es la aceleración gravitatoria que nos ata a la Tierra. Pero los objetos que pasan rozando por la Tierra pescarían microbios a una aceleración de millones de *g.* ¿Podrían sobrevivir a la sacudida? Puede ser. Se ha demostrado que microbios como el *Bacillus subtilis,* el *Caenorhabditis elegans,* el *Deinococcus radiodurans,* el *Escherichia coli* y el *Paracoccus denitrificans* han sobrevivido a aceleraciones de solo un orden de magnitud menos. Resulta que estos miniastronautas están mucho mejor equipados para irse de viaje por el espacio que nuestros mejores pilotos humanos. Podrían sobrevivir al impacto contra la superficie de la Tierra siempre que no se calentara en exceso el núcleo, como en la roca de Marte ALH84001.

Estos datos nos indican que no podemos descartar la posibilidad de que vengamos de Marte. ¿Pero podríamos ser aún más exóticos? ¿La fuente realmente original de la vida en la Tierra, aunque fuera haciendo escala en Marte, podría ser interestelar o intergaláctica? Sí. Tras concluir un exhaustivo análisis sobre la viabilidad de la panspermia, mis colegas y yo determinamos que hay un espacio de parámetros que avala que la galaxia esté saturada de objetos cargados de vida. Como los objetos que se desplazan a menor velocidad tienen más posibilidades de caer en la red gravitatoria de un planeta, y ante el hecho confirmado de que

algunas bacterias pueden sobrevivir millones de años, calculamos que la probabilidad de que un objeto con vida chocara contra un planeta era considerable. De hecho, postulando sucesos gravitatorios de dispersión en el centro galáctico de la Vía Láctea, pronosticamos que el material rocoso podría salir expelido a velocidades tan extremas que el centro podría haber plantado semillas por toda la galaxia.

Esas semillas no tienen por qué limitarse a las bacterias. Algunos virus, que también son capaces de evolucionar conforme a los principios darwinianos, han demostrado poder durar lo suficiente. Incluso vida más compleja podría hacer el viaje. En el permafrost del Ártico se hallaron dos gusanos que revivieron después de estar en criobiosis —cuando se detienen los procesos metabólicos— durante un periodo estimado de treinta o cuarenta mil años. Si organismos como estos pudieran sobrevivir a las condiciones y los plazos con que se encontrarían durante un viaje interplanetario, ¿quién puede decir que ellos mismos no desciendan de los marcianos?

Aquí es donde podríamos sacar partido inmediato de hacer la apuesta correcta respecto a Oumuamua. Si apostamos a que ya hemos detectado indicios de una inteligencia extraterrestre, las preguntas que nos formularemos y los proyectos que iniciaremos cambiarán. Tened en cuenta que cada malabarismo científico que hemos hecho para llegar a la alta probabilidad de una panspermia natural se simplifica si valoramos la panspermia dirigida. ¿Cómo procuramos que la vida salga eyectada de un planeta? Eyectándola nosotros mismos. ¿Cómo procuramos que la vida esté lo bastante protegida de las inclemencias del espacio mientras viaja entre planetas o galaxias? Fabricando un cohete con ese fin. ¿Cómo nos aseguramos de nutrir y preservar la vida para que sobreviva a los larguísimos viajes intergalácticos? Fabricando el cohete para que también cumpla ese fin.

. . .

La manera en que respondamos a la apuesta de Oumuamua

será crucial. La apuesta más segura es considerar el objeto una roca extraña sin más, agarrarnos a las mismas ideas de siempre. Pero cuando hay tanto en juego, las apuestas seguras tienen sus limitaciones.

Si osamos apostar a que Oumuamua era un trozo de tecnología avanzada extraterrestre, la ganancia es segura. Tanto si eso nos lleva a escudriñar metódicamente el universo en busca de indicios de vida, como si nos induce a fundar proyectos tecnológicos más ambiciosos, una apuesta optimista podría surtir un efecto transformador para nuestra civilización. Si la humanidad es capaz de pensar, planificar y construir en aras de una visión medible en millones de años, quizás podamos garantizar que la vida en el universo supere los enormes desafíos temporales y espaciales a lomos del destello de luz de una explosión estelar. Cuando pienso así en esta tecnología conocida, nada se parece más a un pétalo de diente de león lanzado al viento para fertilizar territorio virgen que una vela solar cabalgando la luz solar.

Y esto nos conduce de nuevo a la vida originada en los laboratorios. Si adoptamos la actitud más prudente con respecto a la apuesta de Oumuamua, solo podremos celebrar este extraordinario hito por sus implicaciones para la investigación biomédica. Pero si adoptamos la actitud más ambiciosa, la creación de vida sintética en el laboratorio se puede convertir en un vehículo para que la vida terrestre salve el gran filtro, incluso después de la inevitable explosión de nuestro Sol.

Si nuestra civilización es lo bastante valiente y duradera, seguro que acabaremos migrando al espacio y a nuevas regiones del universo que, en aspectos esenciales, se parezcan a la nuestra. Al hacerlo, seguiremos indudablemente los pasos de quienes nos precedieron; igual que las civilizaciones antiguas de la Tierra migraban a las orillas de los ríos, es probable que las civilizaciones tecnológicas avanzadas migren por el universo hacia entornos ricos en recursos, desde planetas habitables a cúmulos de galaxias.

Pero ninguna civilización, y mucho menos la nuestra, dará el salto de migrar a las estrellas si no es lo bastante inteligente para preservar su planeta de origen mientras urde planes y se prepara. Y

esta es una gesta que la humanidad tendrá más difícil mientras muchos de nosotros nos sigamos aferrando al carácter singular de la vida terrestre, como esa hormiga que se aferra al grano de arena.

13

Singularidades

Oumuamua es equipamiento tecnológico extraterrestre.

Esa es una hipótesis, no una afirmación contrastada. Igual que todas las hipótesis científicas, hay que refutarla con datos. Como sucede a menudo en la ciencia, los datos de los que disponemos no son concluyentes, pero son considerables.

¿Habría alguna posibilidad de obtener datos adicionales a los que ya hemos recabado sobre Oumuamua o sobre objetos similares?

La última vez que vimos a Oumuamua, se alejaba de nosotros a una velocidad increíble; muchísimo más rápido que nuestro cohete más veloz. Sin embargo, sí podríamos desarrollar tecnologías para viajar por el espacio más rápidas que los cohetes, como las velas solares. O podríamos acercarnos al siguiente objeto que se parezca a Oumuamua con cohetes convencionales a medida que se aproxime a nosotros.

Si lanzáramos una nave espacial cerca de un objeto como ese, tal vez podríamos fotografiar su superficie. ¿Qué pruebas podríamos recoger? Casi todas servirían para limar nuestro conocimiento actual. Con imágenes adecuadas, conoceríamos más datos sobre su tamaño, su forma, su composición, su luminosidad, tal vez incluso podríamos saber si lleva marcas evidentes de sus fabricantes; la NASA, por ejemplo, siempre estampa la bandera norteamericana en sus cohetes. Sea cual sea la evidencia, la recibiría con los brazos abiertos.

. . .

A menos —o hasta— que obtengamos pruebas adicionales sobre objetos parecidos a Oumuamua, hemos de trabajar con lo que tenemos. Y lo que poseemos se puede resumir en un tema recurrente:

Y, aun así, se desvió.

Oumuamua, un diminuto objeto interestelar descubierto por los humanos el 19 de octubre de 2017 —altamente luminoso, con una extraña rotación y con forma muy probablemente de disco—, se desvió sin desgasificación visible del rumbo que debería haber seguido si solo lo hubiera impulsado la gravedad solar. Todas sus propiedades, entre las que destaca su ubicación inicial en el sistema de reposo local, lo convertían en una anomalía estadística en grado significativo. Si se trata de un grupo de objetos en órbitas aleatorias, se tendría que haber expelido mucho más material sólido del que hay disponible en los sistemas planetarios alrededor de otras estrellas. Pero si Oumuamua fuera extremadamente delgado o su órbita no fuera aleatoria, el problema sería menos complicado.

La comunidad científica ha llegado en masa a la misma conclusión: Oumuamua era un objeto natural, un cometa peculiar (o incluso exótico)…, pero, a pesar de todas sus peculiaridades, no era más que una roca interestelar. Y, aun así, se desvió.

Es cierto que podríamos postular fenómenos naturales que explicaran todos los atributos exóticos de Oumuamua. Hay una posibilidad estadística, más o menos de una entre un billón, de que Oumuamua fuera una roca única. Pero, entonces, el hecho de que los sistemas planetarios en torno a estrellas cercanas expulsaran material suficiente para producir una cantidad considerable de objetos como Oumuamua se vuelve una posibilidad aún más remota, porque se necesita mucho más material con la forma de objetos interestelares normales, como 2I/Borisov.

Por el contrario, los datos avalan otra hipótesis: que Oumuamua era tecnología extraterrestre, tal vez extinta o desechada. En este sentido, hay algo que ha sido subestimado por casi todos los que han escrito sobre el tema. Es el hecho de que, en

unos algunos años, la humanidad podría construir una nave espacial que reuniera todos y cada uno de los atributos de Oumuamua. En otras palabras, la forma más simple y directa de explicar un objeto con todas las cualidades observadas de Oumuamua es decir que fue fabricado expresamente.

La razón por la que la mayor parte de la comunidad científica se revuelve incómoda ante esta tesis es que no lo fabricamos nosotros mismos. Sopesar la posibilidad de que lo hizo otra civilización significa barajar la idea de que uno de los descubrimientos más trascendentales —que no somos la única especie inteligente del universo— acaba de cruzar por nuestro sistema solar. Nos obliga a pensar de otra manera.

. . .

Para aceptar mi hipótesis sobre Oumuamua hace falta, ante todo, humildad, porque nos fuerza a aceptar que, aunque podamos ser extraordinarios, con casi toda probabilidad no seamos únicos.

Cuando digo que somos extraordinarios, no lo digo en un sentido literal. Decir que estamos hechos de estrellas es un cliché poético, pero, en un sentido menos lírico, también se puede decir que las estrellas están hechas del mismo material que nosotros. Lo mismo cabe decir del universo, pues todo lo que contiene nació en la misma sopa densa de materia y radiación que emanó del *big bang*. Con todo, tal como digo a mis alumnos de primer año, aunque todos estamos compuestos de la misma materia ordinaria, eso no nos impide ser personas extraordinarias. Lo que resulta mucho más significativo es que la organización de la materia que nos conforma se ha convertido, en el decurso de milenios, en la materia de la vida. Y a diferencia de todo lo que hemos descubierto en el universo hasta la fecha, nosotros —y nadie más— estamos muy organizados.

«Extraordinario» y «único» son cosas muy distintas. Pensad en Nicolás Copérnico, el astrónomo del siglo XVI que propuso por primera vez que los planetas orbitan alrededor del Sol, una contribución presuntamente única a nuestra concepción del

cosmos. El libro en el que sostenía esta tesis se publicó en 1543, poco antes de su muerte, y pasó desapercibido por casi todo el mundo excepto por un puñado de astrónomos, la mayoría de los cuales eran amigos de Nicolás. Pero hoy atribuimos los orígenes del sistema solar heliocéntrico a Copérnico y usamos su nombre para describir la premisa de que ni la Tierra ni la humanidad ocupan un lugar especial del universo; y, de hecho, que el universo no tiene lugares únicos o especiales. Aquí, donde reside la humanidad, encontramos lo mismo que en todas partes. Actualmente, podemos añadir una cortapisa irónica al principio copernicano: ninguna especie o civilización que haya descubierto este hecho fundamental sobre el cosmos tiene nada de especial, puesto que seguramente es algo que han averiguado todas las civilizaciones del resto del universo.

Si no nos limitamos a ponderar esta idea y la adoptamos plenamente, descubriremos posibilidades fascinantes.

Cuando Matías Zaldarriaga y yo nos dimos cuenta de que la civilización humana generaba un montón de ruido en el espectro de las ondas métricas, nos pareció razonable pensar que otra civilización pudiera generar ruido en la misma banda de frecuencia, así que propusimos buscar indicios de ello. Cuando Ed Turner y yo descubrimos que Tokio sería visible desde un telescopio espacial como el Hubble situado en los confines de nuestro sistema solar, consideramos razonable buscar un resplandor similar de una ciudad o una nave de otra civilización. De igual modo, cuando James Guillochon, posdoctorado mío, y yo nos percatamos de que era factible que la humanidad enviara naves propulsadas por velas solares, supimos que era razonable imaginar que otra civilización descubriera lo mismo, por lo que recomendamos buscar haces de radiación que indicaran lanzamientos de esta clase.

En la misma línea, cabe suponer que cualquier proyecto de otra civilización para enviar una vela solar habría ido precedido de algo similar al lanzamiento de la Iniciativa Starshot: el proyecto que desarrollamos para diseñar (si no para construir) velas solares propias.

Me gusta imaginar que ahora sé por qué dificultades pasaron hasta llegar a su objetivo.

Imagino lo que dirían sus voces pacifistas. Ante el lanzamiento de una nave espacial propulsada por un láser de cien gigavatios hacia una civilización alienígena a una fracción de la velocidad de la luz, supongo que expresarían miedo por que pudiera ser interpretado como una amenaza, si no como una declaración de guerra. Algo a lo que el presidente del consejo asesor de su versión de la Iniciativa Starshot seguramente habría respondido, como hice yo, que era un riesgo ínfimo. Para empezar, dije que no tenemos conocimiento de que exista vida extraterrestre —inteligente o no—, ni mucho menos de cómo es. Si, en efecto, existen otros seres, una nave nuestra de apenas unos gramos tiene pocas posibilidades de ser avistada y, al llevar la energía de un asteroide común, sería fácil que se la clasificara como tal. Y es casi inviable apuntar nuestra navecita a un planeta que se encuentra a años luz. Haría falta una precisión angular de una milmillonésima parte de un radián. Además, es imposible conocer con esa exactitud la posición relativa del planeta y de la nave tras las décadas que duraría el viaje. No, más que apuntar a un planeta, la nave aspiraría a alcanzar una región orbital miles de veces más grande que el tamaño de un planeta, con lo que la probabilidad de impacto sería de menos de una entre un millón.

Me imagino a sus ingenieros dudar de la viabilidad del proyecto. ¿Y qué hay del daño a la nave por el impacto de granos o trocitos de polvo interestelar? Los miembros del consejo habrían asentido con la cabeza, como hice yo, y habrían señalado que bastaría con un revestimiento de unos pocos milímetros para proteger la nave y sus cámaras. El más optimista de sus ingenieros podría haber lamentado perfectamente la ausencia de un mecanismo de desaceleración, y es probable que alguien manifestara que este sería un hándicap sin solución. Debido a las distancias, al peso de la nave (que debería ser mínimo) y a las velocidades a las que tendría que viajar, sacar fotografías durante vuelos rasantes ya sería una ambición lo bastante grande. Y «gran ambición» lo resume al dedillo. Quizás esas fotografías nos

indicarían si hay vegetación, o un océano, o incluso alguna huella de civilización, todo ello, cosas que querríamos ver de cerca, más que a la distancia de nuestros telescopios más potentes.

Apuesto a que, al defender el proyecto, esos científicos se habrían topado con voces económicamente conservadoras que habrían puesto en duda la rentabilidad de la iniciativa. E imagino que, a su vez, el consejo de la iniciativa habría señalado, tal como hizo el consejo del Starshot, que lo cierto es que las economías de escala serían alucinantes. En nuestro caso, yo dije que sí, que resultaría caro construir el láser. Y sí, sacar la vela solar de la atmósfera del planeta sería costoso, pero las naves en sí serían baratas; cada StarChip costaría unos pocos cientos de dólares. Esto quería decir que, una vez hechas las grandes inversiones, sería perfectamente razonable lanzar una cada pocos días, dirigiéndolas hacia muchos centenares, si no miles, de objetivos.

Y luego, provistos del conocimiento científico y de la correspondiente humildad, quiero pensar que mis optimistas homólogos remotos habrían afirmado que, a pesar de todas las limitaciones y de todos los riesgos, lanzar esas velas solares suponía el siguiente gran paso adelante. Imagino que un número suficiente de esos científicos alienígenas habrían contemplado sus estrellas, igual que nosotros contemplamos las nuestras. Y supongo que, asombrados con las dimensiones del universo en comparación con las dimensiones de su planeta (o incluso de su sistema solar), habrían dado el visto bueno al proyecto. Habrían llegado a la conclusión de que esas velas solares eran el siguiente paso más factible para llegar a las estrellas. Y tal vez hubieran fantaseado, como estamos haciendo nosotros, con que sus veloces y peculiares velas solares serían vistas y entendidas algún día como un anuncio y una invitación: «Bienvenidos al club interestelar».

. . .

Hace falta imaginación y humildad para reconocer que la humanidad no es nada extraordinaria. En mi opinión, ambas cualidades son vitales para superar el gran filtro. Pero necesitamos

otra cosa más. Debemos estar dispuestos a sopesar la explicación más simple para las propiedades de Oumuamua: que sus características reflejan una intención, no un accidente complejo.

Antes he mencionado a Guillermo de Ockham y su famosa navaja, es decir, la regla de que la solución más simple es probablemente la correcta. Tanto si nos enfrentamos a Oumuamua como a cualquier otro fenómeno, más nos valdría adoptarla. Según mi experiencia, se trata de una navaja con la que es difícil afeitar una barbilla arrogante.

Desgraciadamente, la simplicidad no siempre encandila.

«¿Deberíamos hacer más complejo nuestro modelo teórico para que la explicación de los datos no parezca demasiado trivial?» La pregunta surgió durante una reunión con mis posdoctorados; estaban describiendo sus proyectos, algunos de los cuales estaban a punto de acabar. Al principio me sorprendió, pero después, a medida que explicaron su razonamiento, me fui calmando.

La virtud de la simplicidad debería ser obvia, sobre todo para los astrónomos. Al fin y al cabo, la fuerza de la explicación heliocéntrica de Copérnico era su simplicidad; la teoría prevalente que ayudó a rebatir, el sistema planetario geocéntrico del astrónomo griego Ptolomeo, obligaba a hacer equilibrios de lo más tortuosos con las pruebas recabadas. El fracaso de Ptolomeo y el éxito de Copérnico siguen siendo dos de los hechos más reiterados a los futuros astrónomos. Los instructores han explicado durante siglos a sus alumnos que su misión es buscar la explicación más simple para los datos y evitar la *hibris* del polímata griego Aristóteles, que, no obstante su talento, se dejó llevar por su deseo de buscar la perfección en el universo y declaró que, pese a los indicios, los planetas y las estrellas solo se podían mover en círculos perfectos. Su error se convirtió en un hecho indiscutible durante siglos.

Asimismo, durante las últimas décadas del siglo XX, los astrofísicos eran escépticos respecto a un modelo del universo primitivo caracterizado por una pequeña serie de parámetros: en una palabra, por la simplicidad. Los datos eran escasos y la mayoría de los astrofísicos concluyeron que seguramente el modelo

fuera simplista. Pero a comienzos del siglo XXI se habían recabado suficientes datos para demostrar que el universo sí empezó desde el estado inicial más simple posible. Según probaban los datos, el universo primitivo era casi homogéneo (el mismo en todas partes) e isotrópico (el mismo en todas direcciones), y las estructuras complejas que encontramos hoy en él se pueden explicar por un crecimiento gravitatorio inestable de pequeñas desviaciones primordiales de esas condiciones ideales. Este modelo simple es la base de la cosmología moderna.

Atendiendo a todas estas moralejas, podría parecer incomprensible que un grupo de posdoctorados de Harvard de principios del siglo XXI estuviera ponderando en voz alta la pertinencia de añadir complejidad a su trabajo. Pero, para ser justos, tenían buenos motivos.

En el feroz mercado laboral de hoy, parece que el deber principal de uno sea impresionar a los compañeros de mayor trayectoria. El académico joven puede considerar necesario hacer dilatadas derivaciones caracterizadas por una estimulante complejidad matemática. Según me comentó un posdoctorado: «Me encuentro ante el dilema estratégico de elegir entre dos opciones para mi carrera futura: proyectos largos y complicados o artículos cortos y reveladores».

En muchos casos, los académicos de mayor trayectoria quieren poblar su obra con matices y hacerla menos susceptible al escrutinio. Han aprendido que la sofisticación se valora como un sello de las élites y muchos son recompensados de forma acorde.

A la hora de investigar y asesorar, intento ofrecer a mis colegas más jóvenes un contraejemplo. A mis propios posdoctorados les digo que las ideas sencillas y concisas tienden a impulsar el ámbito académico, animando a otros miembros de la comunidad científica a seguir la labor; les animo a creer, como yo, que el trabajo conciso e intelectualmente rico mejorará sus perspectivas laborales; y les digo que la capacidad de explicar claramente la investigación depende de que describan solo esas cosas que entienden y que admitan esas otras que no. Pero siempre responden así: «Eso es fácil de decir para usted, director del

Departamento de Astronomía de Harvard».

Es un auténtico dilema y me da miedo el efecto que vaya a tener sobre la ciencia en el siglo XXI; y no solo dentro de la comunidad científica. En los círculos académicos, recompensar la complejidad por el bien de la complejidad empuja el talento y los recursos en algunas direcciones, alejándolos de otras. También puede estimular el aislamiento intelectual de una élite muy pagada de sí misma, lo cual puede llevar a esas personas a desechar los intereses del público que financia sustancialmente sus proyectos.

Este es un problema grave, con consecuencias que llegan mucho más allá de los círculos académicos. Para entender por qué este es el caso, pensad en uno de los grandes misterios que afrontan en la actualidad los astrofísicos: la ciencia de los agujeros negros.

. . .

Unas pocas semanas después de anunciar nuestra Iniciativa Starshot, en abril de 2016, inauguré la Iniciativa Agujero Negro de Harvard (BHI, por sus siglas en inglés): el primer centro del mundo para el estudio interdisciplinar de los agujeros negros. Ambos anuncios coincidieron bastante en el tiempo para que Stephen Hawking —que había aparecido conmigo, Yuri Milner y Freeman Dyson en Nueva York— pudiera anunciar los objetivos de la BHI junto a mí y mis colegas en Cambridge, Massachusetts.

Fue una casualidad que Stephen pudiera participar. Además, el lanzamiento de la BHI era prometedor por otra razón: hacía cien años que Karl Schwarzschild, astrónomo y físico alemán, había resuelto las ecuaciones de Albert Einstein para la relatividad general, una solución que describió los agujeros negros décadas antes de que hubiera cualquier indicio astronómico de su existencia. Y al cabo de cien años, los astrónomos todavía no habían conseguido fotografiar ninguno.

El acto inaugural de la BHI fue memorable por muchos motivos. Para empezar, este proyecto histórico era un objetivo profesional que yo había codiciado durante mucho tiempo, otra

cajita en la que acumular cerillas prometedoras. Además, la BHI encarnaba una filosofía interdisciplinar por la que yo he abogado durante mucho tiempo para la ciencia, cobijando bajo un mismo techo a astrónomos, matemáticos, físicos y filósofos.

Pero también hubo satisfacciones más simples. En el acto de inauguración había una persona sacando fotografías y en una de ellas retrató a mi hija menor, Lotem, encima del escenario, al lado de Stephen Hawking y de mis compañeros de profesión. No estaba planeado, pero, ahora que lo pienso, creo que su presencia fue esencial. Los avances científicos son actos que implican a varias generaciones y los beneficios del progreso humano se acumulan a lo largo de los siglos. Pensad en los miles y miles de telescopios que ahora colman el planeta y los pocos que orbitan en torno a él; todos son descendientes directos del que usó Galileo para observar el mismo cielo.

Más tarde, mi esposa, mis hijas y yo invitamos a Stephen y a un puñado de compañeros a casa para la cena del Séder de Pésaj. De todos los discursos que se dieron durante los días en que la BHI se anunció al mundo, el que más me impactó fue el que Stephen dio en mi casa. Fue un discurso de unos pocos minutos. Ante un pequeño grupo aglutinado en nuestra sala de estar, nos llamó la atención nuevamente sobre la Iniciativa Starshot y nos adentró en el cosmos. «Ha sido un viaje atareado», dijo.

> La semana pasada, en Nueva York, Avi y yo anunciamos una nueva iniciativa sobre nuestro futuro en el espacio interestelar. El proyecto Breakthrough Starshot intentará construir una nave espacial que llegue al 20 % de la velocidad de la luz. A esa velocidad, yo habría llegado desde Londres en menos de un cuarto de segundo (bueno, un poco más si contáis la aduana del JFK). Con la tecnología que desarrollará el proyecto —haces de luz, velas solares y la nave espacial más ligera jamás fabricada—, se podría llegar a Alfa Centauri en solo veinte años. Hasta hoy, únicamente hemos podido observar las estrellas a distancia. Ahora, por primera vez, podemos alcanzarlas.[1]

Las palabras de Stephen me causaron una honda impresión, sobre todo porque esa acabaría siendo su última visita a los Estados Unidos. En *petit comité* había revelado que esperaba

regresar pronto para dar su apoyo a la nueva Iniciativa Agujero Negro, pero murió al cabo de menos de dos años, sin poder vivir el éxito del proyecto o de la exploración interestelar con la que había soñado.

También se me quedó grabado a fuego otro hilo de comentarios del mismo periodo, pero por razones menos felices. En esa primera conferencia de la BHI, un filósofo terminó su intervención señalando lo siguiente: «Las conversaciones que mantuve con algunos físicos teóricos ilustres me llevaron a deducir que, si la comunidad física conviene en un programa de investigación para una década entera, es que es correcto». Mi presto escepticismo me recordó una sola palabra… o, mejor dicho, un nombre: Galileo.

Se cree que Galileo dijo esto después de observar por su telescopio: «En asuntos de ciencia, la autoridad de mil opiniones no vale tanto como el razonamiento humilde de un solo individuo». Einstein expresó la misma idea siglos más tarde. En 1931, veintiocho expertos se unieron para publicar un libro de ensayos titulado *Cien autores en contra de Einstein,* en el que se declaraba que su teoría de la relatividad general era errónea. Al parecer, el alemán contestó que, en caso de estar equivocado, habría sido suficiente con un autor que presentara pruebas concluyentes para refutar la teoría.

Una de las premisas que vertebra el trabajo de la BHI es valorar las ideas contradictorias que surgen del razonamiento de muchas personas que abordan problemas desde prismas diferentes. El hecho de que todos los participantes tuvieran interés en cosas ligeramente distintas era una ventaja. Los astrónomos esperaban obtener la primera imagen de un agujero negro; los físicos aspiraban a resolver una paradoja aparente sobre el modo en que los agujeros negros afectan a las leyes de la física; y los matemáticos y filósofos trataban de descubrir la naturaleza y estabilidad de la singularidad en el centro de un agujero negro. (En concreto, los filósofos eran una parte esencial de este equipo, dado que un filósofo honesto actúa como el canario de una mina de carbón, avisando al conjunto si se infringe la honestidad

intelectual.)

Si había un denominador común en la BHI, era nuestro entusiasmo compartido por buscar datos que nos permitieran explorar mejor las anomalías y dudas aún no explicadas sobre los agujeros negros. Y también los desafíos que constituyen. He aquí una breve lista.

Una gran anomalía sobre los agujeros negros es lo que los científicos llaman «la paradoja de la información»: la mecánica cuántica estipula que la información siempre se conserva, pero los agujeros negros pueden absorber información y evaporarla en radiación de cuerpo negro puramente térmica (sin información), un fenómeno demostrado por Stephen Hawking. ¿Las leyes de la física se derrumban al llegar a los agujeros negros, o hay algo más?

Otra gran anomalía sobre los agujeros negros es el hecho de que parecen hacer «desvanecer» la materia. ¿Adónde va la materia que atrae un agujero negro? ¿Se concentra en un objeto denso en el centro del agujero negro, o sale de nuestro universo para aparecer en otro, como el agua que desemboca en un embalse lejano?

Pero, en términos más generales, ¿los agujeros negros podrían contribuir a unificar la relatividad general con la mecánica cuántica? En su lecho de muerte, Einstein esbozó sus últimas ideas sobre esta teoría, pero no resolvió el monumental desafío. Igualmente, Stephen Hawking pasó sus últimos años estudiando si las propiedades de los agujeros negros resolverían el problema. Aunque el considerable intelecto de ambos hombres no fue suficiente para despejar la incógnita, muchos astrofísicos y cosmólogos están siguiendo su labor.

Finalmente, lo que incomodaba a los astrónomos cuando se fundó la BHI no era tanto una anomalía, sino una laguna abismal de nuestro saber. Si bien contábamos con décadas de datos que confirmaban la existencia y las propiedades de los agujeros negros, nunca habíamos logrado fotografiar ninguno.

La cosa cambió en 2019. La historia de cómo sucedió —cómo se sacó la primera foto de un agujero negro y cómo pudo obtener la humanidad una prueba tan crucial en nuestra investigación

sobre este misterio cósmico— es un maravilloso e ilustrador ejemplo de cómo la búsqueda deliberada y colaborativa de pruebas puede lograr lo que nunca antes se había conseguido. Para quienes no consideramos a Oumuamua un caso cerrado, para quienes esperamos que sea un acicate suficiente para que la humanidad apueste por los proyectos más ambiciosos, la historia de esta increíble proeza también sirve para recordar que, cuando la humanidad trabaja unida, podemos lograr lo inimaginable: hitos de la investigación, el descubrimiento y la innovación tecnológica que en otras circunstancias habrían sido imposibles. Por ejemplo, construir un telescopio del tamaño de la Tierra.

. . .

En un artículo de 2009 para *Scientific American,* escrito junto con mi exinvestigador de posdoctorado Avery Broderick, describimos este reto como «hacer puntería a la bestia». En primer lugar, tenemos la distancia. Sagitario A* es el agujero negro supermasivo más cercano a la Tierra, a 26.000 años luz. Pero en un artículo especializado publicado en *Astrophysical Journal* ese mismo año también aconsejamos empezar por otro objetivo: M87, el agujero negro que se acabó fotografiando. Se encuentra a 53 millones de años luz, pero es bastante más grande. Con todo, a esa distancia, hacerle una fotografía era como intentar sacar la imagen de una naranja en la superficie de la Luna.

De ahí que se necesitara un telescopio descomunal. O, siendo más precisos, lo que se necesitaba era un interferómetro del tamaño de la Tierra formado por la unión de radiotelescopios de toda la corteza del planeta. Para lograrlo, tuvieron que colaborar muchos lugares del mundo, un proyecto de observación liderado por mi colaborador de la BHI: Shep Doeleman. El resultado fue lo que se denominó el Telescopio del Horizonte de Sucesos (EHT, por sus siglas en inglés).

Los agujeros negros astrofísicos, por definición, no emiten luz propia. De hecho, hacen lo contrario: se tragan la luz y todo lo demás. Pero la materia, normalmente gas, que se arremolina a su

alrededor sí emite luz, dado que se calienta con el estrés de la gravedad del agujero negro. Parte de esa luz escapa a la atracción gravitatoria y parte de ella es absorbida por el agujero negro: el resultado es una silueta flanqueada por un anillo de luz que delimita la región alrededor del agujero negro, de la cual la luz no puede escapar. Este es el rasgo que caracteriza a un agujero negro, su horizonte de sucesos, o el borde esférico en el que el material solo fluye en una dirección. Es la prisión definitiva: puedes entrar, pero no puedes salir jamás. Los agujeros negros astrofísicos se esconden detrás de los horizontes de sucesos, así que, igual que en Las Vegas, lo que pasa en el horizonte se queda en el horizonte. No se filtra información alguna.

Y eso es lo que estaba intentando hacer el EHT: observar directamente un agujero negro y fotografiar su silueta. La misión se fraguó durante años. La Iniciativa Agujero Negro ayudó a procesar los datos de las imágenes que durante varias semanas de abril de 2019 se hicieron virales, y no solo en los pasillos de las universidades. Este proyecto global, que requirió un telescopio mundial, produjo una fotografía que avivó la imaginación de la humanidad. Una década antes, Broderick y yo habíamos esbozado cómo pensamos que podría ser el agujero negro en la galaxia gigante M87. Para nosotros fue especialmente gratificante ver que las portadas de los grandes periódicos y revistas se copaban con una imagen real de un agujero negro que se parecía a nuestros esbozos.

Hay un claro vínculo entre este triunfo y mi labor en la búsqueda de inteligencia extraterrestre. Un objetivo explícito de la Iniciativa Agujero Negro es despertar el interés no solo en todas las disciplinas académicas, sino también entre el público en general. Queremos —y en verdad necesitamos— captar la imaginación del público. Necesitamos que se lean nuestras historias de detectives, que nuestros proyectos combinen la teoría con un cotejo riguroso con datos suficientemente entendidos. De esta forma, toda la humanidad podrá celebrar los éxitos científicos. Solo así podremos cultivar todas las mentes brillantes y ambiciosas que necesitamos para abordar los desafíos actuales y futuros.

Por otra parte, los científicos se deben al público, literalmente. El público nos financia. En gran medida, la mayoría de los avances científicos se pueden atribuir a becas estatales sufragadas con impuestos. Por tanto, cada científico que se ha beneficiado directa o indirectamente (lo que nos atañe a casi todos) tiene el deber de explicar su labor, así como los métodos que emplea. Tenemos la obligación de informar acerca de nuestros descubrimientos y conjeturas más fascinantes sobre temas que gustan al público, como son los orígenes cósmicos de la humanidad, los agujeros negros y la búsqueda de vida extraterrestre.

La ciencia no es una labor que las élites acometen en aisladas torres de marfil, sino un quehacer que beneficia y apasiona a todos los humanos, independientemente de su origen académico. Para mí, esto es especialmente cierto cuando se observa desde el punto de vista de los astrofísicos. Las dudas que nos plantea el universo son asombrosas y estimulantes. También nos hacen poner los pies en el suelo. Nuestra labor consiste en observar hechos que sucedieron mucho antes de nuestra llegada, así como elementos que existirán mucho después de que hayamos desaparecido. Al lado de nuestros objetos de estudio, tenemos muy poco tiempo para observar, un intervalo efímero y precioso para estudiar el universo e intentar sonsacar las respuestas a sus misterios y paradojas.

. . .

Yo tengo fe y esperanza en la ciencia. Durante toda mi vida, el optimismo me ha brindado gratificaciones inmediatas. En realidad, esta experiencia de sacar partido a algo a cambio de nada, de recibir grandes recompensas a cambio de la simple y humilde práctica de la labor detectivesca de la ciencia, me conduce a una última idea.

Paul Chesler, un compañero posdoctorado de la Iniciativa Agujero Negro de Harvard, y yo propusimos una teoría sobre el destino de la materia que se acerca a la singularidad de un agujero

negro. Decidimos abordar el tema usando un simple modelo teórico que combinaba la mecánica cuántica y la gravedad. Y al examinar las implicaciones matemáticas del modelo, reparamos en que también se aplicaba al problema de la inversión temporal, en la que la materia se expande en vez de contraerse. Según esta noción, no teníamos por qué arriesgarnos a viajar al interior de un agujero negro, que probablemente nos haría trizas con la marea gravitatoria e imposibilitaría publicar en Facebook, sino que podríamos observar sin peligro el universo en expansión. Es decir, podríamos mirar toda la materia que hay arriba y alrededor de nosotros y que nació de una singularidad inicial en el tiempo, el *big bang*. Descubrimos que las mismas ecuaciones que describían la singularidad de un agujero negro se podían emplear para averiguar cómo había empezado el universo su expansión acelerada.

Tal como sucede en el relato bíblico de Saúl, que encontró su reino por casualidad mientras buscaba los asnos perdidos de su padre, Paul y yo dimos con una idea inesperada mientras perseguíamos un objetivo completamente diferente. Intentando comprender mejor los agujeros negros, desentrañamos un mecanismo para explicar la aceleración de nuestro universo.

Nuestro modelo teórico es incompleto y hay que pulirlo mucho. Aunque el modelo supere el escrutinio teórico, habría que hacer nuevas predicciones para evitar la guillotina de los datos futuros. Parte de esa labor, si no toda, podría ser útil para otras teorías y otros ámbitos de la ciencia. Y tras la visita de Oumuamua, hay una idea que me persigue sin cesar. También es una lección que aprendí de nuestro visitante interestelar.

Un encuentro con otra civilización, como he dicho, podría ser una lección de humildad. Y dado todo lo que podríamos aprender de una civilización avanzada, en particular, incluso deberíamos cruzar los dedos por que así fuera. Una civilización como la que he descrito conocería indudablemente las respuestas a un montón de preguntas que no hemos podido contestar, o que quizás no nos hemos hecho nunca. Pero para granjearnos una cierta credibilidad intelectual, sería bueno iniciar la conversación ofreciendo nuestro propio saber científico respecto a cómo nació el universo.

Conclusión

Muchos científicos sostienen que solo deberíamos transmitir información al público cuando nuestra labor detectivesca colectiva haya desembocado en una conclusión casi unánime. Estos compañeros de profesión creen que la discreción es necesaria para preservar nuestra buena imagen. De lo contrario, manifiestan, el público podría acabar dudando de los científicos y del proceso científico. Lo cierto es que esto ocurre incluso cuando sí hay una conclusión casi unánime entre los científicos. Pensad, dicen muchas veces, en la minoría de la gente que aún pone en tela de juicio el cambio climático. Temen que sea demasiado peligroso entrar en controversias que puedan erosionar el prestigio de la ciencia.

Pero yo tengo otra opinión. Para mí, si queremos ser creíbles, debemos mostrar que la investigación científica es un proceso más normal y corriente de lo que mucha gente se imagina. En muchas ocasiones, la actitud de mis colegas contribuye a afianzar la premisa populista que ve la ciencia como una ocupación de las élites y alimenta una sensación de enajenación entre científicos y gente de a pie. Pero la ciencia no es una labor que se lleva a cabo en torres de marfil y que, a través de medios inaccesibles, dispensa verdades irrefutables por boca exclusivamente de los sabios. En verdad, el método científico se acerca más a la estrategia lógica de la resolución de problemas que adopta un fontanero para arreglar la pérdida de una cañería.

En realidad, creo que a los investigadores y al público les convendría ver la práctica científica como algo que no dista mucho de las prácticas de tantos otros profesionales. Nos enfrentamos a datos confusos igual que un fontanero se enfrenta a una cañería atascada, echando mano de nuestro conocimiento, nuestra pericia

y la sabiduría de los compañeros para esgrimir hipótesis. Y luego las cotejamos con las pruebas.

El resultado del proceso científico no depende de sus profesionales; es la naturaleza la que determina la realidad. Los científicos solo intentan averiguar cuál es la realidad recabando todas las pruebas posibles y discutiendo sobre varias interpretaciones cuando las pruebas son limitadas. Esto me recuerda a lo que dijo Miguel Ángel cuando le preguntaron cómo se las ingeniaba para hacer esculturas tan bonitas con un bloque de mármol: «La escultura ya está completa dentro del bloque de mármol antes de que empiece a trabajar. Ya está ahí; yo solo tengo que tallar el material que sobra». De igual forma, el progreso científico consiste en recabar pruebas con las que podemos labrar las incontables hipótesis posibles que sobran.

La experiencia de tener que renunciar a algunas de nuestras falsas creencias nos hace ser humildes. No deberíamos tomarnos nuestros errores como insultos, sino como oportunidades para aprender algo nuevo. A fin de cuentas, nuestro modesto islote de conocimiento está rodeado por un inmenso océano de ignorancia y solo las pruebas —no las convicciones infundadas— pueden incrementar la masa de tierra de esta isla. Los astrónomos son los primeros a los que habría que inculcar la modestia. Nos vemos obligados a afrontar nuestra insignificancia en el plan cósmico del universo y a ver cómo de limitado es nuestro entendimiento ante la gran extensión de los fenómenos físicos. Deberíamos adoptar una actitud humilde, permitirnos cometer errores en público y asumir riesgos transparentes mientras tratamos de aprender cosas sobre el universo. Como si fuéramos niños.

Cuando veía a mis compañeros de profesión cerrar filas para no considerar seriamente la hipótesis de que Oumuamua pudiera ser extraterrestre, solía pensar: ¿qué pasó con la curiosidad y la inocencia de cuando éramos niños? Durante la tormenta mediática que se cernió sobre mí a raíz de mi empeño más conocido (de momento) en relación con la búsqueda de inteligencia extraterrestre, hubo una idea que me animó bastante a seguir: *si respondiendo a las exigencias de los medios logro atraer a la ciencia a*

un solo niño del mundo, me daré por satisfecho. Y si consigo que la gente —quizás incluso mi profesión— esté más predispuesta a barajar mi extraña hipótesis, mejor que mejor.

. . .

Retomando los experimentos mentales con los que abríamos este libro, aquellos que planteo a mis alumnos de licenciatura en Harvard, os propongo otro:

Imaginad que en 1976, por ejemplo, la NASA hubiera descubierto pruebas de vida extraterrestre en otro planeta..., en Marte mismo. En esa realidad, la NASA envió al planeta rojo una sonda que extrajo muestras del suelo y, una vez analizadas, resultaron contener materia orgánica. Así pues, se respondió sin atisbo de duda a la pregunta del millón: ¿la vida terrestre es la única vida del universo? La comunidad científica presentó los datos y el público los asimiló.

En consecuencia, durante los últimos cuarenta años la humanidad ha vivido el día a día y ha llevado a cabo sus exploraciones científicas sabiendo que la vida terrestre no tiene nada de único, pues si hay materia orgánica en Marte, es una certeza casi absoluta que existe en otras partes. Guiados por esta suposición, los comités que evalúan y financian nuevos proyectos e instrumentos científicos han decidido destinar dinero a buscar más vida fuera de la Tierra. Los fondos públicos han fluido para financiar estas nuevas exploraciones. Se han reescrito los libros de texto, se han rediseñado las carreras universitarias y se han cuestionado las viejas suposiciones.

Y ahora imaginad que, cuarenta años después de encontrarse vida orgánica en Marte, un pequeño objeto interestelar —altamente luminoso, con una extraña rotación y un 91 % de posibilidades de tener forma de disco— pasara por nuestro sistema solar y, sin desgasificación visible, acelerara de manera uniforme y se desviara del rumbo que habría seguido si solo le hubiera afectado la gravedad del Sol, con un impulso extra que menguó de forma inversamente proporcional a la distancia al cuadrado.

Y ahora imaginad que los astrónomos recabaran suficientes datos sobre este objeto para entender estas anomalías. Imaginad que un puñado de científicos los estudiaran y declararan que una explicación posible para las peculiares características de dicho objeto era que tuviera un origen extraterrestre.

En esta realidad alternativa, ¿cuál creéis que habría sido la reacción del mundillo científico y del público a una hipótesis así?

Con cuarenta años para amoldarse a la existencia de vida extraterrestre, sospecho que, entre todos los escenarios atípicos que se han planteado para explicar las peculiaridades de Oumuamua, el mundo habría tachado esta hipótesis de menos exótica. Tal vez el mundo también habría consagrado esos cuarenta años a prepararse mejor para detectar y estudiar a Oumuamua; así, los científicos podrían haberlo detectado ya en julio de 2017, con lo que habrían tenido tiempo suficiente para enviar una nave espacial a este peculiar objeto y fotografiar su superficie a poca distancia.

Y, tal vez, más que esperar la fecha en que la Iniciativa Starshot envíe su primera vela solar al espacio, como estamos haciendo ahora, estaríamos aguardando el inminente regreso de los datos de esa misma nave, lanzada veinte años antes.

Este experimento mental sirve a dos propósitos. Nos debería recordar que, aunque no tenemos control sobre los datos que nos arroja el universo, sí podemos controlar cómo los buscamos y valoramos y cómo recalibramos nuestros futuros proyectos científicos. El mundo de posibilidades al que decidimos abrirnos —ceñido por las pruebas que recabamos y que permitimos sopesar a nuestra inteligencia colectiva— determina en gran medida el mundo en que vivirán nuestros hijos y nietos.

El segundo propósito de este experimento mental es resaltar una oportunidad perdida.

En 1975 la NASA envió dos módulos de aterrizaje Viking a Marte; estas pequeñas sondas llegaron al planeta rojo al año siguiente. Hicieron experimentos y recogieron muestras de tierra que luego analizaron. Todos los resultados se transmitieron a la Tierra.

En octubre de 2019, Gilbert V. Levin —el principal

investigador de uno de los experimentos realizados por los módulos Viking, el Labeled Release— publicó un artículo en *Scientific American* en que afirmó que el experimento había arrojado resultados positivos que evidenciaban que había vida en Marte. El test había sido diseñado para realizar pruebas en la tierra del planeta en busca de materia orgánica, escribió Levin en el artículo, y parecíamos haber «respondido a la pregunta del millón».[1]

El experimento era simple: se introducen nutrientes en la tierra de Marte y se ve si hay algo allí que los consuma, como si de comida se tratara. El módulo de aterrizaje iba equipado con monitores radioactivos capaces de detectar cualquier rastro de metabolismo que produjera ese consumo. Es más, la sonda podía repetir el experimento tras calentar la tierra hasta una temperatura que acabara con cualquier vida conocida. Si en el primer experimento se encontraban indicios de metabolismo y en el segundo no, daría pie a suponer que había vida biológica.

Y eso, según Levin, fue precisamente lo que demostró el experimento.

Otros ensayos, sin embargo, no pudieron encontrar pruebas que corroboraran la presencia de vida en Marte. La NASA consideró que el resultado del primer experimento fue un falso positivo. Y en las décadas que han transcurrido desde entonces, ningún otro módulo de la NASA a Marte ha llevado instrumentos que tomaran el relevo de ese test.

Tanto la NASA como otras agencias espaciales tienen previsto enviar vehículos exploradores a Marte con equipamiento diseñado para buscar señales de vida pasada. Con enorme acierto, el dispositivo del robot de la NASA se ha bautizado como instrumento SHERLOC (siglas en inglés de «Escaneo de ambientes habitables con Raman y luminiscencia para compuestos orgánicos y químicos»). Todos podemos respirar tranquilos al saber que, aunque con titubeos, la labor detectivesca de la ciencia continúa.

Epílogo

El 14 de septiembre de 2020, los científicos de la Tierra anunciaron que se había detectado la primera posible biofirma en la atmósfera de otro planeta. Este nuevo posible indicio de vida extraterrestre no se descubrió cerca de una estrella remota; casi igual que Oumuamua, se halló justo al lado de la Tierra, en nuestro propio sistema solar.

En el Reino Unido, un equipo de la Universidad de Cardiff encabezado por Jane Greaves descubrió, al parecer, un compuesto químico llamado fosfano (PH3) en las nubes de nuestro planeta vecino: Venus.[1]Buscando su firma espectral en la absorción de luz en longitudes de onda milimétricas, se detectaron señales de ese gas a unos cincuenta kilómetros de la superficie del planeta. Actualmente la superficie de Venus es demasiado cálida para que exista agua líquida, de modo que, por lo que sabemos, su rocoso terreno es inhóspito para la vida. Ahora bien, a esa altura, la temperatura y la presión se parecen a las que hay en las capas inferiores de la atmósfera terrestre. Obviamente, esto da alas a la posibilidad de que existan microbios que vivan en partículas líquidas suspendidas en la atmósfera de Venus.[2]

En la Tierra, el fosfano es producto de la vida. Y por ahora no se conocen otras vías químicas por las que podría producirse fosfano en los niveles detectados en la atmósfera venusiana.

Este descubrimiento potencial sacudió a la comunidad científica tanto como lo hizo el avistamiento de Oumuamua hace exactamente tres años. Como entonces, el anuncio inicial llevó a mi grupo de investigación a hacer una ristra de cálculos. Por ejemplo, Manasvi Lingam y yo calculamos que la densidad mínima de microbios necesarios para producir el fosfano encontrado en la capa de nubes venusiana no es excesiva, sino muchos órdenes de

magnitud inferior a la que se encuentra en el aire de la Tierra.[3]En otras palabras, no tenía que haber mucha vida en Venus —ni de lejos— para que se pudieran detectar señales de ella desde la Tierra. Además, Amir Siraj y yo demostramos que los asteroides que lamen nuestro planeta podrían haber intercambiado microbios entre las atmósferas de la Tierra y Venus.[4]Esto plantea la posibilidad (verificable) de que la vida en ambos planetas tuviera un antepasado común, si es que realmente existe vida en Venus.

Igual que con Oumuamua, el fosfano de Venus marca el inicio, más que el final, de una nueva senda de descubrimiento. Más adelante los científicos recopilarán más datos para probar la autenticidad de las detecciones reportadas hasta ahora y comprobarán si la única forma natural de producir fosfano son los organismos vivos. Las pruebas concluyentes de la existencia de vida tendrán que esperar a la sonda que visitará físicamente Venus, recogerá el material de sus nubes y buscará microbios en las muestras. En suma, la labor detectivesca continúa.

Agradecimientos

Mi mayor gratitud se la debo a mis padres, Sara y David, que supieron avivar mi curiosidad y mi pasión por saber durante mi interminable infancia; a mi sensacional esposa, Ofrit; y a mis maravillosas hijas, Klil y Lotem, cuyo apoyo y amor incondicional hacen que valga la pena vivir esta vida.

Durante mi carrera científica, he tenido la suerte de poder colaborar con docenas de alumnos y posdoctorados de enorme talento. En el libro menciono el nombre de pila de una pequeña fracción de ellos, y los pormenores de su trabajo se pueden encontrar en mi página web, https://www.cfa.harvard.edu/~loeb/. Como señala el rabino Hanina en el Talmud: «He aprendido mucho de mis maestros, más de mis compañeros, pero de nadie más que de mis alumnos».

Este libro nunca habría llegado a ser una realidad sin algunos miembros clave del equipo. En concreto, estoy agradecido a mis agentes literarias, Leslie Meredith y Mary Evans, por convencerme para escribir este libro en medio de un agitado calendario de investigación; a los editores Alex Littlefield y Georgina Laycock, por su generoso apoyo y consejo en este proyecto de escritura; y a Thomas LeBien y Amanda Moon, por sus ideas extraordinariamente duchas y sagaces para recopilar y organizar los materiales de este libro. También doy las gracias a Michael Lemonick, editor del blog *Observations,* de *Scientific American,* por facilitarme una plataforma de incalculable valor en la que exponer mis opiniones y argumentos.

Este elenco de fantásticos colaboradores me enseñó lo que sé sobre mí mismo y, por tanto, sobre el mundo. A fin de cuentas, los horizontes del universo que descubrimos están moldeados por lo que imaginamos que hay ahí fuera.

Lecturas adicionales

Muchas de las ideas que engloba este libro ya fueron sopesadas y estudiadas en artículos previos. Podéis encontrar una lista con hipervínculos aquí: https://www.cfa.harvard.edu/~loeb/Oumuamua.html.

A continuación, incluyo algunos de mis artículos para ampliar los temas que abordo en cada capítulo. Todos los enlaces a artículos de revistas académicas en esta sección y en la siguiente dirigen a arXiv, un servidor preimpresión que permite a la comunidad científica y al público en general acceder a artículos académicos.

Introducción

Loeb, A. «The Case for Cosmic Modesty». *Scientific American,* 28 de junio de 2017, https://blogs.scientificamerican.com/observations/the-case-for-cosmic-modesty/.

— «Science Is Not About Getting More Likes». *Scientific American,* 8 de octubre de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/science-is-not-about-getting-more-likes/.

— «Seeking the Truth When the Consensus Is Against You». *Scientific American,* 9 de noviembre de 2018, https://blogs.scientificamerican.com/observations/seeking-the-truth-when-the-consensus-is-against-you/.

— «Essential Advice for Fledgling Scientists». *Scientific American,* 2 de diciembre de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/essential-advice-for-

fledgling-scientists/.

— «A Tale of Three Nobels». *Scientific American,* 18 de diciembre de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/a-tale-of-three-nobels/.

— «Advice to Young Scientists: Be a Generalist». *Scientific American,* 16 de marzo de 2020, https://blogs.scientificamerican.com/observations/advice-for-young-scientists-be-a-generalist/.

— «The Power of Scientific Brainstorming». *Scientific American,* 23 de julio de 2020, https://www.scientificamerican.com/article/the-power-of-scientific-brainstorming/.

— «A Movie of the Evolving Universe Is Potentially Scary». *Scientific American,* 2 de agosto de 2020, https://www.scientificamerican.com/article/the-power-of-scientific-brainstorming/.

Moro-Martin, A., E. L. Turner, A. Loeb. «Will the Large Synoptic Survey Telescope Detect Extra-Solar Planetesimals Entering the Solar System?». *Astrophysical Journal* (2009), https://arxiv.org/pdf/0908.3948.pdf.

1. Explorador

Bialy, S., A. Loeb. «Could Solar Radiation Pressure Explain 'Oumuamua's Peculiar Acceleration?». *Astrophysical Journal Letters* (2018), https://arxiv.org/pdf/1810.11490.pdf.

Loeb, A. «Searching for Relics of Dead Civilizations». *Scientific American,* 27 de septiembre de 2018, https://blogs.scientificamerican.com/observations/how-to-search-for-dead-cosmic-civilizations/.

— «Are Alien Civilizations Technologically Advanced?». *Scientific American,* 8 de enero de 2018, https://blogs.scientificamerican.com/observations/are-alien-civilizations-

technologically-advanced/.

— «Q&A with a Journalist». Centro de Astrofísica, Universidad Harvard, 25 de enero de 2019, https://www.cfa.harvard.edu/~loeb/QA.pdf.

2. La hacienda

Loeb, A. «The Humanities of the Future». *Scientific American,* 22 de marzo de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/the-humanities-and-the-future/.

— «What Is the One Thing You Would Change About the World?». *Harvard Gazette,* 1 de julio de 2019, https://news.harvard.edu/gazette/story/2019/06/focal-point-harvard-professor-avi-loeb-wants-more-scientists-to-think-like-children/.

— «Science as a Way of Life». *Scientific American,* 14 de agosto de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/a-scientist-must-go-where-the-evidence-leads/.

— «Beware of Theories of Everything». *Scientific American,* 9 de junio de 2020, https://blogs.scientificamerican.com/observations/beware-of-theories-of-everything/.

Loeb, A., E. L. Turner. «Detection Technique for Artificially Illuminated Objects in the Outer Solar System and Beyond». *Astrobiology* (2012), https://arxiv.org/pdf/1110.6181.pdf.

3. Anomalías

Hoang, T., A. Loeb. «Destruction of Molecular Hydrogen Ice and Implications for 1I/2017 U1 (‘Oumuamua)». *Astrophysical Journal Letters* (2020), https://arxiv.org/pdf/2006.08088.pdf.

Lingam, M., A. Loeb. «Implications of Captured Interstellar Objects for Panspermia and Extraterrestrial Life». *Astrophysical*

Journal (2018), https://arxiv.org/pdf/1801.10254.pdf.

Loeb, A. «Theoretical Physics Is Pointless Without Experimental Tests». *Scientific American,* 10 de agosto de 2018, https://blogs.scientificamerican.com/observations/theoretical-physics-is-pointless-without-experimental-tests/.

— «The Power of Anomalies». *Scientific American,* 28 de agosto de 2018, https://blogs.scientificamerican.com/observations/the-power-of-anomalies/.

— «On 'Oumuamua». Centro de Astrofísica, Universidad de Harvard, 5 de noviembre de 2018, https://www.cfa.harvard.edu/~loeb/Oumuamua.pdf.

— «Six Strange Facts About the First Interstellar Visitor, 'Oumuamua». *Scientific American,* 20 de noviembre de 2018, https://blogs.scientificamerican.com/observations/6-strange-facts-about-the-interstellar-visitor-oumuamua/.

— «How to Approach the Problem of 'Oumuamua». *Scientific American,* 19 de diciembre de 2018, https://blogs.scientificamerican.com/observations/how-to-approach-the-problem-of-oumuamua/.

— «The Moon as a Fishing Net for Extraterrestrial Life». *Scientific American,* 25 de septiembre de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/the-moon-as-a-fishing-net-for-extraterrestrial-life/.

— «The Simple Truth About Physics». *Scientific American,* 1 de enero de 2020, https://blogs.scientificamerican.com/observations/the-simple-truth-about-physics/.

Sheerin, T. F., A. Loeb. «Could 1I/2017 U1 'Oumuamua Be a Solar Sail Hybrid?». Centro de Astrofísica, Universidad de Harvard, mayo de 2020, https://www.cfa.harvard.edu/~loeb/TL.pdf.

Siraj, A., A. Loeb. «'Oumuamua's Geometry Could Be More Extreme than Previously Inferred». *Research Notes of the American Astronomical Society* (2019), http://iopscience.iop.org/article/10.3847/2515-5172/aafe7c/meta.

— «Identifying Interstellar Objects Trapped in the Solar System Through Their Orbital Parameters». *Astrophysical Journal Letters* (2019), https://arxiv.org/pdf/1811.09632.pdf.

— «An Argument for a Kilometer-Scale Nucleus of C/2019 Q4». *Research Notes of the American Astronomical Society* (2019), https://arxiv.org/pdf/1909.07286.pdf.

4. StarChips

Christian, P., A. Loeb. «Interferometric Measurement of Acceleration at Relativistic Speeds». *Astrophysical Journal* (2017), https://arxiv.org/pdf/1608.08230.pdf.

Guillochon, J., A. Loeb. «SETI via Leakage from Light Sails in Exoplanetary Systems». *Astrophysical Journal* (2016), https://arxiv.org/pdf/1508.03043.pdf.

Kreidberg, L., A. Loeb. «Prospects for Characterizing the Atmosphere of Proxima Centauri b». *Astrophysical Journal Letters* (2016), https://arxiv.org/pdf/1608.07345.pdf.

Loeb, A. «On the Habitability of the Universe». *Consolidation of Fine Tuning* (2016), https://arxiv.org/pdf/1606.08926.pdf.

— «Searching for Life Among the Stars». *Pan European Networks: Science and Technology,* julio de 2017, https://www.cfa.harvard.edu/~loeb/PEN.pdf.

— «Breakthrough Starshot: Reaching for the Stars». *SciTech Europa Quarterly,* marzo de 2018, https://www.cfa.harvard.edu/~loeb/Loeb_Starshot.pdf.

— «Sailing on Light». *Forbes,* 8 de agosto de 2018, https://www.cfa.harvard.edu/~loeb/Loeb_Forbes.pdf.

— «Interstellar Escape from Proxima b Is Barely Possible with Chemical Rockets». *Scientific American,* 2018, https://arxiv.org/pdf/1804.03698.pdf.

Loeb, A., R. A. Batista, D. Sloan. «Relative Likelihood for Life as a Function of Cosmic Time». *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* (2016), https://arxiv.org/pdf/1606.08448.pdf.

Manchester, Z., A. Loeb. «Stability of a Light Sail Riding on a Laser Beam». *Astrophysical Journal Letters* (2017), https://

arxiv.org/pdf/1609.09506.pdf.

5. La hipótesis de la vela solar

Hoang, T., A. Loeb. «Electromagnetic Forces on a Relativistic Spacecraft in the Interstellar Medium». *Astrophysical Journal* (2017), https://arxiv.org/pdf/1706.07798.pdf.

Hoang, T., A. Loeb, A. Lazarian, J. Cho. «Spinup and Disruption of Interstellar Asteroids by Mechanical Torques, and Implications for 1I/2017 U1 (‘Oumuamua)». *Astrophysical Journal* (2018), https://arxiv.org/pdf/1802.01335.pdf.

Hoang, T., A. Lazarian, B. Burkhart, A. Loeb. «The Interaction of Relativistic Spacecrafts with the Interstellar Medium». *Astrophysical Journal* (2017), https://arxiv.org/pdf/1802.01335.pdf.

Loeb, A. «An Audacious Explanation for Fast Radio Bursts». *Scientific American,* 24 de junio de 2020, https://www.scientificamerican.com/article/an-audacious-explanation-for-fast-radio-bursts/.

6. Conchas y boyas

Lingam, M., A. Loeb. «Risks for Life on Habitable Planets from Superflares of Their Host Stars». *Astrophysical Journal* (2017), https://arxiv.org/pdf/1708.04241.pdf.

— «Optimal Target Stars in the Search for Life». *Astrophysical Journal Letters* (2018), https://arxiv.org/pdf/1803.07570.pdf.

Loeb, A. «For E.T. Civilizations, Location Could Be Everything». *Scientific American,* 13 de marzo de 2018, https://blogs.scientificamerican.com/observations/for-e-t-civilizations-location-could-be-everything/.

— «Space Archaeology». *Atmos,* 8 de noviembre de 2019, https://www.cfa.harvard.edu/Atmos_Loeb.pdf.

Siraj, A., A. Loeb. «Radio Flares from Collisions of Neutron Stars with Interstellar Asteroids». *Research Notes of the American Astronomical Society* (2019), https://arxiv.org/pdf/1908.11440.pdf.

— «Observational Signatures of Sub-Relativistic Meteors». *Astrophysical Journal Letters* (2020), https://arxiv.org/pdf/2002.01476.pdf.

7. Aprendamos de los niños

Lingam, M., A. Loeb. «Fast Radio Bursts from Extragalactic Light Sails». *Astrophysical Journal Letters* (2017), https://arxiv.org/pdf/1701.01109.pdf.

— «Relative Likelihood of Success in the Searches for Primitive Versus Intelligent Life». *AstroBiology* (2019), https://arxiv.org/pdf/1807.08879.pdf.

8. La inmensidad

Loeb, A. *How Did the First Stars and Galaxies Form?* Princeton University Press, Princeton (Nueva Jersey), 2010.

— «Geometry of the Universe». *Astronomy,* 8 de julio de 2020, https://www.cfa.harvard.edu/~loeb/Geo.pdf.

Loeb, A., S. R. Furlanetto. *The First Galaxies in the Universe*. Princeton University Press, Princeton (Nueva Jersey), 2013.

Loeb, A., M. Zaldarriaga. «Eavesdropping on Radio Broadcasts from Galactic Civilizations with Upcoming Observatories for Redshifted 21 Cm Radiation». *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* (2007), https://arxiv.org/pdf/astro-ph/0610377.pdf

9. Filtros

Lingam, M., A. Loeb. «Propulsion of Spacecrafts to Relativistic Speeds Using Natural Astrophysical Sources». *Astrophysical Journal* (2020), https://arxiv.org/pdf/2002.03247.pdf.

Loeb, A. «Our Future in Space Will Echo Our Future on Earth». *Scientific American,* 10 de enero de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/our-future-in-space-will-echo-our-future-on-earth/.

— «When Lab Experiments Carry Theological Implications». *Scientific American,* 22 de abril de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/when-lab-experiments-carry-theological-implications/.

— «The Only Thing That Remains Constant Is Change». *Scientific American,* 6 de septiembre de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/the-only-thing-that-remains-constant-is-change/.

Siraj, A., A. Loeb. «Exporting Terrestrial Life Out of the Solar System with Gravitational Slingshots of Earthgrazing Bodies». *International Journal of Astrobiology* (2019), https://arxiv.org/pdf/1910.06414.pdf.

10. Astroarqueología

Lin, H. W., G. González Abad, A. Loeb. «Detecting Industrial Pollution in the Atmospheres of Earth-Like Exoplanets». *Astrophysical Journal Letters* (2014), https://arxiv.org/pdf/1406.3025.pdf.

Lingam, M., A. Loeb. «Natural and Artificial Spectral Edges in Exoplanets». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (2017), https://arxiv.org/pdf/1702.05500.pdf.

Loeb, A. «Making the Church Taller». *Scientific American,* 18 de octubre de 2018, https://blogs.scientificamerican.com/

observations/making-the-church-taller/.

— «Advanced Extraterrestrials as an Approximation to God». *Scientific American,* 26 de enero de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/advanced-extraterrestrials-as-an-approximation-to-god/.

— «Are We Really the Smartest Kid on the Cosmic Block?». *Scientific American,* 4 de marzo de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/are-we-really-the-smartest-kid-on-the-cosmic-block/.

— «Visionary Science Takes More Than Just Technical Skills». *Scientific American,* 25 de mayo de 2020, https://blogs.scientificamerican.com/observations/visionary-science-takes-more-than-just-technical-skills/.

11. La apuesta Oumuamua

Chen, H., J. C. Forbes, A. Loeb. «Influence of XUV Irradiation from Sgr A* on Planetary Habitability and Occurrence of Panspermia near the Galactic Center». *Astrophysical Journal Letters* (2018), https://arxiv.org/pdf/1711.06692.pdf.

Cox, T. J., A. Loeb. «The Collision Between the Milky Way and Andromeda». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (2008), https://arxiv.org/pdf/0705.1170.pdf.

Forbes, J. C., A. Loeb. «Evaporation of Planetary Atmospheres Due to XUV Illumination by Quasars». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (2018), https://arxiv.org/pdf/1705.06741.pdf.

Loeb, A. «Long-Term Future of Extragalactic Astronomy». *Physical Review D* (2002), https://arxiv.org/pdf/astro-ph/0107568.pdf.

— «Cosmology with Hypervelocity Stars». *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* (2011), https://arxiv.org/pdf/1102.0007.pdf.

— «Why a Mission to a Visiting Interstellar Object Could Be

Our Best Bet for Finding Aliens». *Gizmodo,* 31 de octubre de 2018, https://gizmodo.com/why-a-mission-to-a-visiting-interstellar-object-could-b-1829975366.

— «Be Kind to Extraterrestrials». *Scientific American,* 15 de febrero de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/be-kind-to-extraterrestrials/.

— «Living Near a Supermassive Black Hole». *Scientific American,* 11 de marzo de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/living-near-a-supermassive-black-hole/.

12. Ssemillas

Ginsburg, I., M. Lingam, A. Loeb. «Galactic Panspermia». *Astrophysical Journal* (2018), https://arxiv.org/pdf/1810.04307.pdf.

Lingam, M., A. Loeb. «Subsurface Exolife». *International Journal of Astrobiology* (2017), https://arxiv.org/pdf/1711.09908.pdf.

— «Brown Dwarf Atmospheres as the Potentially Most Detectable and Abundant Sites for Life». *Astrophysical Journal* (2019), https://arxiv.org/pdf/1905.11410.pdf.

— «Dependence of Biological Activity on the Surface Water Fraction of Planets». *Astronomical Journal* (2019), https://arxiv.org/pdf/1809.09118.pdf.

— «Physical Constraints for the Evolution of Life on Exoplanets». *Reviews of Modern Physics* (2019), https://arxiv.org/pdf/1810.02007.pdf.

Lingam, M., I. Ginsburg, A. Loeb. «Prospects for Life on Temperate Planets Around Brown Dwarfs». *Astrophysical Journal* (2020), https://arxiv.org/pdf/1909.08791.pdf.

Loeb, A. «In Search of Green Dwarfs». *Scientific American,* 3 de junio de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/

in-search-of-green-dwarfs/.

— «Did Life from Earth Escape the Solar System Eons Ago?». *Scientific American,* 4 de noviembre de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/did-life-from-earth-escape-the-solar-system-eons-ago/.

— «What Will We Do When the Sun Gets Too Hot for Earth's Survival?». *Scientific American,* 25 de noviembre de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/the-moon-as-a-fishing-net-for-extraterrestrial-life/.

— «Surfing a Supernova». *Scientific American,* 3 de febrero de 2020, https://blogs.scientificamerican.com/observations/surfing-a-supernova/.

Siraj, A., A. Loeb. «Transfer of Life by Earth-Grazing Objects to Exoplanetary Systems». *Astrophysical Journal Letters* (2020), https://arxiv.org/pdf/2001.02235.pdf.

Sloan, D., R. A. Batista, A. Loeb. «The Resilience of Life to Astrophysical Events». *Nature Scientific Reports* (2017), https://arxiv.org/pdf/1707.04253.pdf.

13. Singularidades

Broderick, A., A. Loeb. «Portrait of a Black Hole». *Scientific American,* 2009, https://www.cfa.harvard.edu/~loeb/sciam2.pdf.

Forbes, J., A. Loeb. «Turning up the Heat on 'Oumuamua». *Astrophysical Journal Letters* (2019), https://arxiv.org/pdf/1901.00508.pdf.

Loeb, A. «'Oumuamua's Cousin?». *Scientific American,* 6 de mayo de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/oumuamuas-cousin/.

— «It Takes a Village to Declassify an Error Bar». *Scientific American,* 3 de julio de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/it-takes-a-village-to-declassify-an-error-bar/.

— «Can the Universe Provide Us with the Meaning of Life?». *Scientific American,* 18 de noviembre de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/surfing-a-supernova/.

— «In Search of Naked Singularities». *Scientific American,* 3 de mayo de 2020, https://blogs.scientificamerican.com/observations/in-search-of-naked-singularities/.

Siraj, A., A. Loeb. «Discovery of a Meteor of Interstellar Origin». *Astrophysical Journal Letters* (2019), https://arxiv.org/pdf/1904.07224.pdf.

— «Probing Extrasolar Planetary Systems with Interstellar Meteors». *Astrophysical Journal Letters* (2019), https://arxiv.org/pdf/1906.03270.pdf.

— «Halo Meters». *Astrophysical Journal Letters* (2019), https://arxiv.org/pdf/1906.05291.pdf.

Conclusión

Lingam, M., A. Loeb. «Searching the Moon for Extrasolar Material and the Building Blocks of Extraterrestrial Life». *Publications of the National Academy of Sciences* (2019), https://arxiv.org/pdf/1907.05427.pdf.

Loeb, A. «Science Is an Infinite-Sum Game». *Scientific American,* 31 de julio de 2018, https://blogs.scientificamerican.com/observations/science-is-an-infinite-sum-game/.

— «Why Should Scientists Mentor Students». *Scientific American,* 25 de febrero de 2020, https://blogs.scientificamerican.com/observations/why-should-scientists-mentor-students/.

— «Why the Pursuit of Scientific Knowledge Will Never End». *Scientific American,* 6 de abril de 2020, https://blogs.scientificamerican.com/observations/why-the-pursuit-of-scientific-knowledge-will-never-end/.

— «A Sobering Astronomical Reminder from COVID-19». *Scientific American,* 22 de abril de 2020, https://blogs.scientificamerican.com/observations/a-sobering-astronomical-reminder-from-covid-19/.

— «Living With Scientific Uncertainty». *Scientific American,* 15 de julio de 2020, https://www.scientificamerican.com/article/living-with-scientific-uncertainty/.

— «What if We Lived a Million Years?». *Scientific American,* agosto de 2020, https://www.cfa.harvard.edu/~loeb/Li.pdf.

Siraj, A., A. Loeb. «Detecting Interstellar Objects through Stellar Occultations». *Astrophysical Journal* (2019), https://arxiv.org/pdf/2001.02681.pdf.

— «A Real-Time Search for Interstellar Impact on the Moon». *Acta Astronautica* (2019), https://arxiv.org/pdf/1908.08543.pdf.

Notas

1. Unión Astronómica Internacional, «The IAU Approves New Type of Designation for Interstellar Objects», 14 de noviembre de 2017, https://www.iau.org/news/announcements/detail/ann17045/.

1. Marco Micheli *et al.*, «NonGravitational Acceleration in the Trajectory of 1I/2017 U1 (‘Oumuamua)», *Nature* 559 (2018): pp. 223-26, https://www.ifa.hawaii.edu/~meech/papers/2018/Micheli2018-Nature.pdf.

2. Roman Rafikov, «Spin Evolution and Cometary Interpretation of the Interstellar Minor Object 1I/2017 ‘Oumuamua», *Astrophysical Journal* (2018), https://arxiv.org/pdf/1809.06389.pdf.

3. David E. Trilling *et al.*, «Spitzer Observations of Interstellar Object 1I/‘Oumuamua», *Astronomical Journal* (2018), https://arxiv.org/pdf/1811.08072.pdf.

4. Man-To Hui, Mathew M. Knight, «New Insights into Interstellar Object 1I/2017 U1 (‘Oumuamua) from SOHO/STEREO Nondetections», *Astronomical Journal* (2019), https://arxiv.org/pdf/1910.10303.pdf.

5. NASA, «Nearing 3,000 Comets: SOHO Solar Observatory Greatest Comet Hunter of All Time», 30 de julio de 2015, https://www.nasa.gov/feature/goddard/soho/solar-observatory-greatest-comet-hunter-of-all-time.

6. Darryl Seligman, Gregory Laughlin, «Evidence That 1I/2017 U1 (‘Oumuamua) Was Composed of Molecular Hydrogen Ice», *Astrophysical Journal Letters* (2020), https://arxiv.org/pdf/2005.12932.pdf.

7. Zdenek Sekanina, «1I/‘Oumuamua As Debris of Dwarf Interstellar Comet That Disintegrated Before Perihelion», arXiv.org (2019), https://arxiv.org/pdf/1901.08704.pdf.

8. Amaya Moro-Martín, «Could 1I‘Oumuamua Be an Icy Fractal Aggregate», *Astrophysical Journal* (2019), https://arxiv.org/pdf/1902.04100.pdf.

9. Sergey Mashchenko, «Modeling the Light Curve of ‘Oumuamua: Evidence for Torque and Disk-Like Shape», *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (2019), https://arxiv.org/pdf/1906.03696.pdf.

10. Yun Zhang, Douglas N. C. Lin, «Tidal Fragmentation as the Origin of 1I/2017 U1 ('Oumuamua)», *Nature Astronomy* (2020), https://arxiv.org/pdf/2004.07218.pdf.

1. Equipo Oumuamua del Instituto Internacional de Ciencias Espaciales, «The Natural History of ‘Oumuamua», *Nature Astronomy* 3 (2019), https://arxiv.org/pdf/1907.01910.pdf.

2. Michelle Starr, «Astronomers Have Analysed Claims ‘Oumuamua’s an Alien Ship, and It’s Not Looking Good», *Science Alert,* 1 de julio de 2019, https://www.sciencealert.com/astronomers-have-determined-oumuamua-is-really-truly-not-an-alien-lightsail.

1. Aaron Do, Michael A. Tucker, John Tonry, «Interstellar Interlopers: Number Density and Origin of ‘OumuamuaLike Objects», *Astrophysical Journal* (2018), https://arxiv.org/pdf/1801.02821.pdf.

2. Amaya Moro-Martín, «Origin of 1I‘Oumuamua. I. An Ejected Protoplanetary Disk Object?», *Astrophysical Journal* (2018), https://arxiv.org/pdf/1810.02148.pdf; Amaya Moro-Martín, «II. An Ejected Exo-Oort Cloud Object», *Astronomical Journal* (2018), https://arxiv.org/pdf/1811.00023.pdf.

3. Eric Mamajek, «Kinematics of the Interstellar Vagabond 1I/‘Oumuamua (A/2017 U1)», *Research Notes of the American Astronomical Society* (2017), https://arxiv.org/abs/1710.11364.

1. Giuseppe Cocconi, Philip Morrison, «Searching for Interstellar Communications», *Nature* 184, n.º 4690 (19 de septiembre de 1959): pp. 844-46, http://www.iaragroup.org/_OLD/seti/pdf_IARA/cocconi.pdf.

2. Adam Mann, «Intelligent Ways to Search for Extraterrestrials», *New Yorker* (3 de octubre de 2019).

3. Jason Wright, «SETI Is a Very Young Field (Academically)», *AstroWright* (blog), 23 de enero de 2019, https://sites.psu.edu/astrowright/2019/01/23/seti-is-a-very-young-field-academically/.

1. Silpa Kaza *et al.*, «What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050», Banco Mundial (2018), https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317.

2. Mario Livio, «Winston Churchill's Essay on Alien Life Found», *Nature* (2017), https://www.nature.com/news/winston-churchill-s-essay-on-alien-life-found-1.21467; Brian Handwerk, «"Are We Alone in the Universe?" Winston Churchill's Lost Extraterrestrial Essay Says No», SmithsonianMag.com, 16 de febrero de 2017, https://www.smithsonianmag.com/science-nature/winston-churchill-question-alien-life-180962198/.

1. En este enlace podéis ver un vídeo del breve discurso que dio Hawking en nuestra casa el 22 de abril de 2016: https://www.cfa.harvard.edu/~loeb/SI.html.

1. Gilbert V. Levin, «I'm Convinced We Found Evidence of Life on Mars in the 1970s», *Scientific American,* 10 de octubre de 2019, https://blogs.scientificamerican.com/observations/im-convinced-we-found-evidence-of-life-on-mars-in-the-1970s/.

1. J. Greaves *et al.*, «Phosphine Gas in the Cloud Decks of Venus», *Nature Astronomy* (2020), https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2009/2009.06593.pdf.

2. S. Seager *et al.*, «The Venusian Lower Atmosphere Haze as a Depot for Desiccated Microbial Life: A Proposed Life Cycle for Persistence of the Venusian Aerial Biosphere», *Astrobiology* (2020), https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2009/2009.06474.pdf.

3. M. Lingam, A. Loeb, «On the Biomass Required to Produce Phosphine Detected in the Cloud Decks of Venus», arXiv.org (2020), https://arxiv.org/pdf/2009.07835.pdf.

4. A. Siraj, A. Loeb, «Transfer of Life Between Earth and Venus with Planet-Grazing Asteroids», arXiv.org (2020), https://arxiv.org/pdf/2009.09512.pdf.

Extraterrestre
Avi Loeb

Título original: *Extraterrestrial. The First Sign of Intelligent Life Beyond Earth*

Esta edición ha sido publicada en acuerdo con Mary Evans Inc, a través de International Editors Co.

Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona
www.editorial.planeta.es
www.planetadelibros.com

Primera edición en libro electrónico (epub): febrero de 2021

ISBN: 978-84-08-23957-4 (epub)

Conversión a libro electrónico: Realización Planeta